

MARIA DE NAZARÉ MARTINS MACIEL

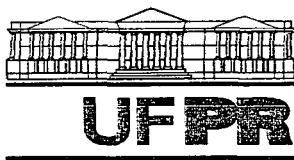
**ESTIMATIVA DE PARÂMETROS ESTRUTURAIS DE  
UMA FLORESTA PRIMÁRIA NA AMAZÔNIA  
ORIENTAL ATRAVÉS DE DADOS ORBITAIS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Ciências Florestais, Área de Concentração Manejo Florestal.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Christel Lingnau

CURITIBA

2002



Universidade Federal do Paraná  
Setor de Ciências Agrárias – Centro de Ciências Florestais e da Madeira  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal**  
Av. Lothário Meissner, 3400 – Jardim Botânico – CAMPUS III  
80210-170 - CURITIBA - Paraná  
Tel. (41) 360.4212 - Fax. (41) 360.4211 – <http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao>  
e-mail: [pinheiro@floresta.ufpr.br](mailto:pinheiro@floresta.ufpr.br)

## PARECER

Defesa nº 461

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após argüir a doutoranda **MARIA NAZARÉ MARTINS MACIEL** em relação ao seu trabalho de tese intitulado "ESTIMATIVA DE PARÂMETROS ESTRUTURAIS DE UMA FLORESTA PRIMÁRIA NA AMAZÔNIA ORIENTAL ATRAVÉS DE DADOS ORBITAIS", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** da acadêmica, habilitando-a ao título de *Doutor em Ciências Florestais*, na área de concentração em *Manejo Florestal*.



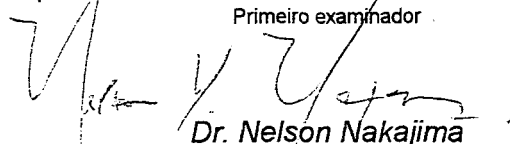
**Dr.ª Christel Langanu**

Professora e pesquisadora do Departamento de Ciências Florestais da UFPR  
Orientadora e presidente da banca examinadora



**Dr. João Roberto dos Santos**

Professor e Pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Primeiro examinador



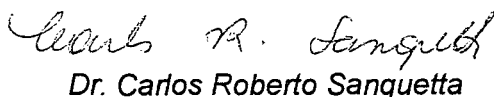
**Dr. Nelson Nakajima**

Professor e pesquisador da FURB – Universidade Regional de Blumenau - SC  
Segundo examinador



**Dr. Afonso Figueiredo Filho**

Professor e Pesquisador do Departamento de Ciências Florestais da UFPR  
Terceiro examinador



**Dr. Carlos Roberto Sanquetta**

Professor e Pesquisador do Departamento de Ciências Florestais da UFPR  
Quarto examinador

Curitiba, 18 de fevereiro de 2002.



**Nivaldo Eduardo Rizzi**  
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal  
**Franklin Galvão**  
Vice-coordenador

Aos meus pais Heitor e Cecília, ao  
meu marido Ary e a nossa filha  
Gabriele, e ao meu sogro João Ary.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Registro nesta ocasião meus agradecimentos sinceros às seguintes pessoas e instituições que colaboraram na execução deste trabalho:

- À FCAP, nas pessoas do ex- Diretor Prof. Dr. Paulo Luiz Contente de Barros e atual Diretor Prof. Dr. Manuel Malheiros Tourinho, por esta oportunidade de crescimento profissional;
- À UFPR que através do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, proporcionou minha qualificação e o desenvolvimento deste trabalho;
- À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Christel Lingnau, pelos ensinamentos, incentivo e dedicação na orientação deste trabalho;
- Ao Prof. Dr. Carlos Roberto Sanquetta e Prof. Dr. Sylvio Péllico Netto, pela co-orientação, apoio e conhecimentos transmitidos;
- Ao Prof. Dr. Flávio Felipe Kirchner e Prof. Dr. Jorge Centeno, pelas sugestões, ensinamentos, incentivo e amizade;
- A CAPES pelo financiamento da bolsa de estudos;
- À empresa Cimatal Madeiras Tailândia pelo financiamento da pesquisa;
- Aos Srs. Derley, André, Neguinho e Boca pela ajuda nos trabalhos de campo;
- A empresa Engesat pela doação da imagem de satélite;



- À Ana Paula, Fábio, Flávio e Emerson pela imensa amizade;
- Aos queridos amigos Rubens, Guadalupe, Shirley, Milton, Regina, Moacir, Farinha, Naíssa e Pyramon pelos ótimos momentos desfrutados durante a nossa convivência;
- A todos os professores, funcionários e colegas do curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da UFPR, que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho;
- Quero agradecer, de forma especial, a uma pessoa que me mostrou o verdadeiro sentido da solidariedade e que foi capaz de abrir mão em desfrutar o convívio com a família para ajudar-me nesta conquista. Agradeço e sempre agradecerei ao meu sogro, aliás meu pai, João Ary.

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>vii</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>x</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>xiii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xiv</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>5</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	5
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	5
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>7</b>
3.1 MODELO DE MISTURA ESPECTRAL .....	7
3.1 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO .....	10
3.3 ANÁLISE DE TEXTURA.....	14
3.4 ESTIMATIVA DE PARÂMETROS ESTRUTURAIS ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO. ....	20
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>26</b>
4.1 DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO .....	26
4.2 PRODUTOS UTILIZADOS .....	28
4.2.1 Imagens Orbitais e Material Cartográfico .....	28
4.2.2 Sistema de Processamento de Imagens .....	28
4.2.3 Equipamento Complementar.....	29
4.3 METODOLOGIA .....	29
4.3.1 Trabalho de Campo.....	30
4.3.1.1 Reconhecimento da Paisagem e Aquisição de Pontos de Controle.....	30
4.3.1.2 Levantamento Florístico-Estrutural da Floresta Primária .....	30
4.3.2 Relação Espécie - Área .....	32
4.3.3 Cálculo das Variáveis Biométricas da Floresta.....	32
4.3.4 Classificação das Unidades Amostrais.....	34
4.3.5 Pré-Processamento de Imagens.....	35

4.3.5.1 Georreferenciamento .....	35
4.3.5.2 Conversão dos Números Digitais (DN) para Reflectância .....	36
4.3.6 Processamento de Imagens .....	38
4.3.6.1 Geração de Imagens Proporção .....	38
4.3.6.2 Geração de Imagem Índice de Vegetação .....	39
4.3.6.3 Geração de Imagens Textura .....	39
4.3.7 Obtenção dos Valores Digitais na Imagem TM e Derivadas .....	41
4.3.8 Integração dos Dados .....	42
4.3.9 Procedimento Estatístico .....	42
4.3.10 Classificação Digital .....	43
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>44</b>
5.1 RELAÇÃO ESPÉCIE - ÁREA .....	44
5.2 COMPOSIÇÃO FLORÍSTICA .....	46
5.3 CARACTERIZAÇÃO E AGRUPAMENTO DAS UNIDADES AMOSTRAIS .....	48
5.4 CARACTERIZAÇÃO DOS ESTRATOS FLORESTAIS .....	55
5.5 PROCESSAMENTO DE IMAGENS .....	67
5.5.1 Modelo Linear de Mistura Espectral - MLME .....	67
5.5.2 Índice de Vegetação Ajustado para Influência do Solo (SAVI) .....	73
5.5.3 Análise de Textura .....	75
5.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	77
5.6.1 Análise de Correlação Entre Variáveis .....	78
5.6.2 Análise de Regressão .....	83
5.7 VALORES ESTIMADOS VERSUS VALORES OBSERVADOS .....	90
5.8 MAPEAMENTO DA VEGETAÇÃO .....	96
<b>6 CONCLUSÕES .....</b>	<b>108</b>
<b>7 RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>111</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>112</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>127</b>

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	26
FIGURA 2 - FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA ADOTADA.....	29
FIGURA 3 - LOCALIZAÇÃO DAS UNIDADES AMOSTRAIS E ESQUEMA DE AMOSTRAGEM.....	31
FIGURA 4 - UNIDADE DE AMOSTRA DIGITAL E UNIDADE DE AMOSTRA DE CAMPO.....	41
FIGURA 5 - CURVA ESPÉCIE-ÁREA: (A) - PARA INDIVÍDUOS COM $DAP \geq 40$ CM; (B) - PARA INDIVÍDUOS COM $10 \leq DAP < 40$ CM. ....	45
FIGURA 6 - ESPÉCIES MAIS ABUNDANTES: (A) - INDIVÍDUOS COM $DAP \geq 40$ CM; (B) - INDIVÍDUOS COM $10 \leq DAP < 40$ CM. ....	48
FIGURA 7 - GRUPOS GERADOS PARA VARIÁVEL DENSIDADE. ....	51
FIGURA 8 - GRUPOS GERADOS PARA VARIÁVEL ÁREA BASAL. ....	51
FIGURA 9 - GRUPOS GERADOS PARA VARIÁVEL BIOMASSA.....	51
FIGURA 10 - GRUPOS GERADOS PARA VARIÁVEL VOLUME. ....	52
FIGURA 11 - GRUPOS GERADOS PARA VARIÁVEL DIVERSIDADE. ....	52
FIGURA 12 - ESPÉCIES MAIS ABUNDANTES EM CADA ESTRATO FLORESTAL. ....	57
FIGURA 13 - GRUPOS GERADOS PARA VARIÁVEL DENSIDADE: (A) - ESTRATO SUPERIOR; (B) - ESTRATO INTERMEDIÁRIO; (C) - ESTRATO INFERIOR.....	61
FIGURA 14 - GRUPOS GERADOS PARA VARIÁVEL ÁREA BASAL: (A) - ESTRATO SUPERIOR; (B) - ESTRATO INTERMEDIÁRIO; (C) - ESTRATO INFERIOR.....	62
FIGURA 15 - GRUPOS GERADOS PARA VARIÁVEL BIOMASSA: (A) - ESTRATO SUPERIOR; (B) - ESTRATO INTERMEDIÁRIO; (C) - ESTRATO INFERIOR.....	63
FIGURA 16 - GRUPOS GERADOS PARA VARIÁVEL VOLUME: (A) - ESTRATO SUPERIOR; (B) - ESTRATO INTERMEDIÁRIO; (C) - ESTRATO INFERIOR.....	64
FIGURA 17 - GRUPOS GERADOS PARA VARIÁVEL DIVERSIDADE: (A) - ESTRATO SUPERIOR; (B) - ESTRATO INTERMEDIÁRIO; (C) - ESTRATO INFERIOR.....	65
FIGURA 18 - ESPAÇO DE ATRIBUTOS ESPECTRAIS DOS COMPONENTES PUROS NO MODELO DE MISTURA.....	68
FIGURA 19 - IMAGENS PROPORÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO: (A) - VEGETAÇÃO, (B) - SOLO E, (C) - SOMBRA.....	69
FIGURA 20 - SECÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO CORRESPONDENTE A UMA ÁREA DE FLORESTA PRIMÁRIA SUBMETIDA A EXPLORAÇÃO SELETIVA: (A)	

IMAGEM COMPOSIÇÃO COLORIDA 5-4-3, (B) - PROPORÇÃO VEGETAÇÃO, (C) - PROPORÇÃO SOLO E, (D) - PROPORÇÃO SOMBRA. ....	70
FIGURA 21 - SECÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO CORRESPONDENTE A UMA ÁREA DE CONTATO DE FLORESTA PRIMÁRIA E VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA (CAPOEIRA): (A) - IMAGEM COMPOSIÇÃO COLORIDA 5-4-3, (B) - PROPORÇÃO VEGETAÇÃO, (C) - PROPORÇÃO SOLO E, (D) - PROPORÇÃO SOMBRA. ....	71
FIGURA 22 - PROPORÇÕES VEGETAÇÃO, SOLO E SOMBRA, PARA AS UNIDADES AMOSTRAIS INVENTARIADAS EM UMA ÁREA DE FLORESTA PRIMÁRIA, MOJU, PARÁ. ....	72
FIGURA 23 - IMAGEM SAVI ( $L = 0,5$ ) DA ÁREA DE ESTUDO. ....	73
FIGURA 24 - ÍNDICE SAVI ( $L=0,5$ ) PARA AS UNIDADES AMOSTRAIS INVENTARIADAS EM UMA ÁREA DE FLORESTA PRIMÁRIA, MOJU, PARÁ. ....	74
FIGURA 25 - VALORES DOS PARÂMETROS TEXTURAIS DAS UNIDADES AMOSTRAIS INVENTARIADAS EM UMA ÁREA DE FLORESTA PRIMÁRIA, MOJU, PARÁ: (A) - MÉDIA; (B) - VARIÂNCIA; (C) - SEGUNDO MOMENTO ANGULAR; (D) - HOMOGENEIDADE. ....	76
FIGURA 26 - VALORES OBSERVADOS E VALORES ESTIMADOS DE BIOMASSA: (A) - DADOS GERAIS, (B) - ESTRATO SUPERIOR + INTERMEDIÁRIO, (C) - ESTRATO SUPERIOR. ....	87
FIGURA 27 - VALORES OBSERVADOS E VALORES ESTIMADOS DE VOLUME: (A) - DADOS GERAIS, (B) - ESTRATO SUPERIOR + INTERMEDIÁRIO, (C) - ESTRATO SUPERIOR. ....	89
FIGURA 28 - COMPARAÇÃO ENTRE AS ANÁLISES DE AGRUPAMENTO DOS VALORES OBSERVADOS E ESTIMADOS APÓS A APLICAÇÃO DOS MODELOS DE REGRESSÃO AJUSTADOS PARA OS DADOS GERAIS: (A) - VALORES DE BIOMASSA OBSERVADOS; (B) - VALORES DE BIOMASSA ESTIMADOS; (C) - VALORES DE VOLUME OBSERVADOS; (D) - VALORES DE VOLUME ESTIMADOS. ....	92
FIGURA 29 - COMPARAÇÃO ENTRE A ANÁLISE DE AGRUPAMENTO DOS VALORES OBSERVADOS E ESTIMADOS APÓS A APLICAÇÃO DOS MODELOS DE REGRESSÃO AJUSTADOS PARA O ESTRATO SUPERIOR DA FLORESTA: (A) - VALORES DE BIOMASSA OBSERVADOS; (B) - VALORES DE	

BIOMASSA ESTIMADOS; (C) - VALORES DE VOLUME OBSERVADOS; (D) - VALORES DE VOLUME ESTIMADOS.....	95
FIGURA 30 - MAPA DE BIOMASSA DE UMA FLORESTA PRIMÁRIA, MUNICÍPIO DE MOJU – PARÁ, OBTIDO A PARTIR DE IMAGEM SINTÉTICA GERADA PELA APLICAÇÃO DO MODELO "BIO = 1477,8 - 10699,6 REF4".....	100
FIGURA 31 - MAPA DE BIOMASSA DO ESTRATO SUPERIOR DE UMA FLORESTA PRIMÁRIA, MUNICÍPIO DE MOJU – PARÁ, OBTIDO A PARTIR DE IMAGEM SINTÉTICA GERADA PELA APLICAÇÃO DO MODELO "BIO = 1296,5 - 9801,2 MED -15905,7 REF3".....	101
FIGURA 32 - MAPA DE VOLUME DE UMA FLORESTA PRIMÁRIA, MUNICÍPIO DE MOJU – PARÁ, OBTIDO A PARTIR DE IMAGEM SINTÉTICA GERADA PELA APLICAÇÃO DO MODELO "V = 1958,6 - 14222,9 REF4".....	102
FIGURA 33 - MAPA DE VOLUME DO ESTRATO SUPERIOR DE UMA FLORESTA PRIMÁRIA, MUNICÍPIO DE MOJU – PARÁ, OBTIDO A PARTIR DE IMAGEM SINTÉTICA GERADA PELA APLICAÇÃO DO MODELO "V = 1743,5 - 13187,3 MED - 21226,7 REF3". .....	103
FIGURA 34 - MAPA DE BIOMASSA DE UMA FLORESTA PRIMÁRIA, MUNICÍPIO DE MOJU – PARÁ, OBTIDO A PARTIR DE IMAGEM SINTÉTICA GERADA PELA APLICAÇÃO DO MODELO "BIO = 1477,8 - 10699,6 REF4", APÓS APLICAÇÃO DE UM FILTRO DE MODA .....	104
FIGURA 35 - MAPA DE BIOMASSA DO ESTRATO SUPERIOR DE UMA FLORESTA PRIMÁRIA, MUNICÍPIO DE MOJU – PARÁ, OBTIDO A PARTIR DE IMAGEM SINTÉTICA GERADA PELA APLICAÇÃO DO MODELO "BIO = 1296,5 - 9801,2 MED - 15905,7 REF3", APÓS APLICAÇÃO DE UM FILTRO DE MODA.....	105
FIGURA 36 - MAPA DE VOLUME DE UMA FLORESTA PRIMÁRIA, MUNICÍPIO DE MOJU – PARÁ, OBTIDO A PARTIR DE IMAGEM SINTÉTICA GERADA PELA APLICAÇÃO DO MODELO "V = 1958,6 - 14222,9 REF4", APÓS APLICAÇÃO DE UM FILTRO DE MODA .....	106
FIGURA 37 - Mapa de VOLUME DO estrato superior de uma floresta primária, Município de Moju – Pará, obtido a partir DE IMAGEM SINTÉTICA GERADA PELA aplicação do modelo " v = 1743,5 - 13187,3 MED - 21226,7 REF3", após aplicação de um filtro de moda .....	107

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - VALORES DE $L_{\text{máx}}$ e $L_{\text{mín}}$ ( $\text{mw} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ ) UTILIZADOS NA CONVERSÃO PARA RADIANCIA.....	37
TABELA 2 - VALORES DE IRRADIÂNCIA ( $\text{mw} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ ) UTILIZADOS NA CONVERSÃO PARA REFLECTÂNCIA. ....	38
TABELA 3 - NÚMERO ACUMULADO DE ESPÉCIES NOVAS EM RELAÇÃO À ÁREA AMOSTRADA EM UMA FLORESTA PRIMÁRIA, MOJU, PARÁ.....	44
TABELA 4 - VALORES DE DENSIDADE, ÁREA BASAL, BIOMASSA, VOLUME E DIVERSIDADE DE ESPÉCIES PARA AS 20 UNIDADES DE AMOSTRAS INVENTARIADAS ( $\text{DAP} \geq 10 \text{ cm}$ ) EM UMA FLORESTA PRIMÁRIA, MOJU, PARÁ. ....	49
TABELA 5 - UNIDADES DE AMOSTRA CONSTITUINTES DOS GRUPOS OBTIDOS PELO ALGORITMO DE K-MÉDIAS PARA CINCO VARIÁVEIS ESTANDARDIZADAS EM UMA ÁREA DE FLORESTA PRIMÁRIA, MOJU, PARÁ. ....	50
TABELA 6 - MÉDIA ( $\bar{x}$ ) E DESVIO PADRÃO ( $s$ ) DAS VARIÁVEIS DENSIDADE, ÁREA BASAL, BIOMASSA, VOLUME E DIVERSIDADE DE ESPÉCIES DOS GRUPOS GERADOS PELA ANÁLISE DE AGRUPAMENTO PARA UMA ÁREA DE FLORESTA OMBRÓFILA DENSE, MOJU, PARÁ.....	53
TABELA 7 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA DAS VARIÁVEIS ALTURA TOTAL (H) E DIÂMETRO (DAP) NOS ESTRATOS FLORESTAIS DE UMA ÁREA DE FLORESTA PRIMÁRIA, MOJU, PARÁ. ....	56
TABELA 8 - VALORES DE DENSIDADE, ÁREA BASAL, BIOMASSA, VOLUME E DIVERSIDADE DE ESPÉCIES NOS TRÊS ESTRATOS FLORESTAIS DAS 20 UNIDADES DE AMOSTRAS INVENTARIADAS ( $\text{DAP} \geq 10 \text{ cm}$ ) EM UMA FLORESTA PRIMÁRIA, MOJU, PARÁ. ....	59
TABELA 9 - UNIDADES DE AMOSTRA CONSTITUINTES DOS GRUPOS OBTIDOS PELO ALGORITMO DE K-MÉDIAS PARA CINCO VARIÁVEIS ESTANDARDIZADAS EM RELAÇÃO AOS TRÊS ESTRATOS FLORESTAIS DE UMA ÁREA DE FLORESTA PRIMÁRIA, MOJU, PARÁ. ....	60
TABELA 10 - MÉDIA ( $\bar{x}$ ) E DESVIO PADRÃO ( $s$ ) DAS VARIÁVEIS DENSIDADE, ÁREA BASAL, BIOMASSA, VOLUME E DIVERSIDADE DE ESPÉCIES DOS TRÊS ESTRATOS FLORESTAIS PARA OS GRUPOS GERADOS	

PELA ANÁLISE DE AGRUPAMENTO EM UMA ÁREA DE FLORESTA PRIMÁRIA, MOJU, PARÁ. ....	60
TABELA 11 - RESPOSTA ESPECTRAL DOS COMPONENTES PUROS .....	67
TABELA 12 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS E DIGITAIS OBTIDOS ATRAVÉS DE FUNÇÃO LINEAR.....	78
TABELA 13 - COMPARAÇÃO ENTRE RESULTADOS DE CORRELAÇÕES ENCONTRADOS NESTA PESQUISA COM RESULTADOS DE OUTROS AUTORES.....	79
TABELA 14 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS E DIGITAIS OBTIDOS ATRAVÉS DE FUNÇÃO EXPONENCIAL.....	80
TABELA 15 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS, CALCULADAS PARA O ESTRATO SUPERIOR DA FLORESTA, E AS VARIÁVEIS DIGITAIS.....	81
TABELA 16 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS, CALCULADAS PARA O ESTRATO INTERMEDIÁRIO DA FLORESTA, E AS VARIÁVEIS DIGITAIS.....	82
TABELA 17 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS, CALCULADAS PARA O ESTRATO INFERIOR DA FLORESTA, E AS VARIÁVEIS DIGITAIS.....	83
TABELA 18- PARÂMETROS DOS MODELOS DE REGRESSÃO APLICADOS PARA A VARIÁVEL DENSIDADE DE INDIVÍDUOS (DEN) DE UMA FLORESTA PRIMÁRIA, MOJU-PARÁ. ....	84
TABELA 19 - PARÂMETROS DOS MODELOS DE REGRESSÃO APLICADOS PARA A VARIÁVEL ÁREA BASAL (AB) DE UMA FLORESTA PRIMÁRIA, MOJU-PARÁ.....	85
TABELA 20 - PARÂMETROS DOS MODELOS DE REGRESSÃO APLICADOS PARA A VARIÁVEL BIOMASSA (BIO) DE UMA FLORESTA PRIMÁRIA, MOJU-PARÁ.....	85
TABELA 21 - PARÂMETROS DOS MODELOS DE REGRESSÃO APLICADOS PARA A VARIÁVEL VOLUME (VOL) DE UMA FLORESTA PRIMÁRIA, MOJU-PARÁ.....	88
TABELA 22 - PARÂMETROS DOS MODELOS DE REGRESSÃO APLICADOS PARA A VARIÁVEL DIVERSIDADE (DIV) DE UMA FLORESTA PRIMÁRIA, MOJU, PARÁ.....	90



TABELA 23 - VALORES OBSERVADOS E ESTIMADOS DE BIOMASSA E VOLUME PARA AS 20 UNIDADES DE AMOSTRAS ( $DAP \geq 10$ cm) EM UMA FLORESTA PRIMÁRIA, MOJU, PARÁ. ....	91
TABELA 24 - MÉDIA ( $\bar{x}$ ) E DESVIO PADRÃO ( $s$ ) DE BIOMASSA E VOLUME DOS GRUPOS GERADOS PELA ANÁLISE DE AGRUPAMENTO PARA OS VALORES OBSERVADOS E ESTIMADOS PELOS MODELOS DE REGRESSÃO AJUSTADOS PARA OS DADOS GERAIS UMA ÁREA DE FLORESTA PRIMÁRIA, MOJU, PARÁ. ....	93
TABELA 25 - VALORES OBSERVADOS E ESTIMADOS DE BIOMASSA E VOLUME DO ESTRATO SUPERIOR DA FLORESTA PARA AS 20 UNIDADES DE AMOSTRAS ( $DAP \geq 10$ CM) EM UMA FLORESTA PRIMÁRIA, MOJU, PARÁ.....	94
TABELA 26 - MÉDIA ( $\bar{x}$ ) E DESVIO PADRÃO ( $s$ ) DAS VARIÁVEIS BIOMASSA E VOLUME, DOS DO ESTRATO SUPERIOR DA FLORESTA, DOS GRUPOS GERADOS PELA ANÁLISE DE AGRUPAMENTO PARA OS VALORES OBSERVADOS E ESTIMADOS PELOS MODELOS DE REGRESSÃO AJUSTADOS PARA UMA ÁREA DE FLORESTA PRIMÁRIA, MOJU, PARÁ.....	96

## RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo estimar parâmetros estruturais de uma floresta tropical primária localizada no município de Moju, Estado do Pará, através do estudo do relacionamento entre dados de campo e dados orbitais obtidos pelo satélite TM/LANDSAT. Inicialmente procedeu-se a caracterização florístico-estrutural da floresta primária, através das variáveis biométricas: densidade das árvores, área basal, biomassa, volume e diversidade de espécies arbóreas. A partir da imagem TM/Landsat, gerou-se imagens proporções vegetação, solo e sombra obtidas pelo Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME), Índice de Vegetação Ajustado para Influência do Solo (SAVI) e imagens texturas. A integração dos dados de campo e dados da imagem de satélite foi feita através de procedimentos estatísticos, onde inicialmente efetuou-se análises de correlação a fim de avaliar o grau de dependência linear entre as variáveis biométricas e as variáveis digitais. Posteriormente procedeu-se análises de regressão *Stepwise* com o intuito de determinar dentre as variáveis digitais estudadas, as que melhor explicassem cada variável biométrica. As imagens sintéticas resultantes da aplicação dos modelos de regressão ajustados para as variáveis biométricas foram classificadas pelo método de fatiamento a partir das quais gerou-se mapas temáticos. Os resultados mostraram a existência de alta correlação entre as variáveis biométricas área basal, biomassa e volume e as variáveis digitais reflectância da banda 4, SAVI, proporção vegetação, proporção sombra e parâmetro textural média. A estimativa de parâmetros biométricos com emprego de dados orbitais associados a dados de campo apresentou-se satisfatória, mostrando que os valores obtidos das imagens TM/Landsat permitem caracterizar a estrutura da floresta primária em termos de biomassa e volume. O presente estudo mostra a potencialidade das técnicas de sensoriamento remoto na obtenção de informações valiosas, as quais, podem subsidiar ações ligadas ao manejo dos recursos naturais, podendo facilitar, sobretudo, a análise de possíveis mudanças estruturais que porventura aconteçam nos processos de exploração e até mesmo, conservação das áreas de floresta primária.

Palavras-chave: parâmetros estruturais, floresta primária, Amazônia Oriental, dados orbitais, Modelo Linear de Mistura Espectral, Índice de Vegetação Ajustado para Influência do Solo, textura.

# **ESTIMATION OF STRUCTURAL PARAMETERS OF A PRIMARY FOREST IN EASTERN AMAZON BY ORBITAL DATA**

## **ABSTRACT**

The objective of this research was to estimate structural parameters of a tropical primary forest located in Moju District, state of Para, by the study of relation between field data and data obtained from satellite TM/LANDSAT. In the beginning the characterization flora-structural of the primary forest was done by using the followings biometrics variables: trees density, basal area, biomass, volume and diversity of arboreal species. The images proportion vegetation, soil and shade obtained by Linear Spectral Mixture Model, Soil Adjuste Vegetation Index (SAVI) and textural images were generated from the TM/LANDSAT image. The integration between field data and satellite image data was done by statistical procedure, where, initially correlation analysis was performed to evaluate the degree of dependence between biometrics variables and digital variables. Subsequently, Stepwise regression analysis was done with the purpose to determine among the digital variables studied, which one is the best to explain each biometric variable. The resultant images from the application of regression models were classified by using sliced method and from these, thematic maps were generated. The results showed the existence of high correlation between biometrics variables basal area, biomass and volume and digital variables reflectance of band 4, SAVI, proportion vegetation, proportion shade and medium textural parameter. The estimation of biometrics parameters by using orbital data associated with the field data was satisfactory, showing that data obtained from TM/LANDSAT image permit to characterize the structure of primary forest in terms of biomass and volume. The present study shows the potentiality of remote sensing techniques for obtaining valuable information, that can support actions related to the natural resources management, and making easy, above all, the analysis of possible structural changes that can happen in the exploration process and also, in the preservation of primary forest areas.

Key words: structural parameters, primary forest, eastern Amazon, orbital data, Linear Spectral Mixture Model, Soil Adjuste Vegetation Index, textura.

## 1 INTRODUÇÃO

As últimas gerações vêm presenciando grandes transformações nas paisagens do nosso planeta, devido ao impacto da atividade humana sobre o meio-ambiente, a qual vem operando em magnitudes, taxas e escalas espaciais sem precedentes. Por exemplo, TURNER et al. (1994) lembram que pelo menos metade da superfície terrestre livre do gelo já foi alterada por diversos usos da terra e que a quantidade de água desviada anualmente para o uso humano chega a  $\frac{1}{4}$  da média anual do total do escoamento superficial. Ainda, segundo os mesmos, a quantidade de metano na troposfera já dobrou e o nível de dióxido de carbono aumentou em 25% desde a era pré-industrial.

As causas dessas impressionantes mudanças globais têm duas origens fundamentais: a primeira consiste no aumento do metabolismo industrial, através dos diversos processos de fluxos de energia e material resultantes da extração, transformação e uso dos recursos naturais. Já a segunda refere-se aos processos de mudança do uso e da cobertura do solo no planeta. Neste último aspecto, os principais usos do solo, sob o ponto de vista econômico e de extensão espacial, incluem a agricultura nas suas diversas formas, a pecuária, a urbanização e as atividades de extração de recursos naturais. Como resultado, esses e outros tipos de uso do solo vêm alterando as coberturas de vegetação natural e semi-natural da Terra em uma escala global.

Nesse sentido, uma grande pressão tem ocorrido nos trópicos visando à ocupação das áreas de florestas primárias. As conseqüências deste processo de destruição das florestas tropicais são várias, incluindo desde a redução significativa da base de recursos genéticos (biodiversidade) da biosfera (HAINES-YOUNG et al., 1993), até a alteração do clima global, pela emissão de  $\text{CO}_2$  e água (WOODWELL, 1984) ou pela mudança do albedo da Terra (VERSTRAETE et al., 1990). Impactos

significativos poderão também ser sentidos devido à degradação dos solos, alteração dos regimes hídricos e aumento do fluxo de sedimentos (TURNER et al., 1994).

As florestas tropicais, quando removidas, contribuem com um expressivo percentual na emissão de dióxido de carbono e outros gases na atmosfera, seja imediatamente, através da queima, ou mais lentamente, devido à subsequente decomposição da madeira. Tal fato reveste-se de importância à medida em que a elevação da concentração de carbono na atmosfera vem sendo associada à ocorrência do “efeito estufa”, responsável por mudanças climáticas em escala global (RABELLO, 1987).

Dentro desse contexto, destaca-se a Amazônia Brasileira, por possuir a maior floresta tropical intacta do planeta (SKOLE et al., 1994), a qual hospeda mais da metade das espécies vegetais do mundo (MORAN et al., 1994). De acordo ainda com estes últimos autores, o seu tamanho continental e a sua alta taxa de evapotranspiração fazem com que ela tenha uma influência marcante no clima global.

No entanto, apesar da sua importância, têm sido presenciadas crescentes ameaças a esse rico bioma, que surgiram na região a partir do início da década de 70 com a implantação de vários projetos governamentais e privados, visando a ocupação e colonização destas vastas áreas virgens. Desta forma, novas fronteiras agrícolas foram expandidas, substituindo a floresta por áreas de pastagens e culturas. Isto fez com que o Brasil tivesse a maior taxa de desmatamento do mundo, a qual chegou a alcançar na década de 80, segundo algumas estimativas, de 15.000 a 20.000 km<sup>2</sup>/ano (FAO, 1993; MYERS, 1991; SKOLE e TUCKER 1993).

Para avaliação do desmatamento amazônico, diversos trabalhos têm empregado análises detalhadas de imagens de satélite. Neste propósito, SKOLE et al. (1994) estimaram um total de 230.000 km<sup>2</sup> de áreas desmatadas até o ano de 1988, quantidade que correspondia a 6% da Amazônia Legal, mas que poderia chegar até 27% em alguns Estados.

Para o início da década de 90, INPE (1992) e SKOLE e TUCKER (1993) mostraram que a taxa de desmatamento chegou a cair para 10.000 km<sup>2</sup>/ano, representando a metade do que era no decorrer dos anos 80. Mesmo assim, SKOLE e TUCKER (1993) calcularam que o total de área atingida pelo desmatamento já poderia ter alcançado 310.000 km<sup>2</sup> até a data de publicação do respectivo artigo.

Por sua vez, o Projeto de Levantamento das Áreas Desflorestadas da Amazônia Legal (PRODES) indicou um valor bruto de 469.978 km<sup>2</sup> de desmatamento já atingido até o ano de 1994 (INPE; FUNCATE, 1996), sendo que os dados de agosto de 1996, estimam um total de 517.069 km<sup>2</sup> (MCT, 1998). Nesse aspecto, os últimos levantamentos do PRODES destacam o recrudescimento do desmatamento amazônico, mostrando um incremento das taxas anuais para 14.890 km<sup>2</sup>/ano - biênio 92/94, 29.060 km<sup>2</sup>/ano - 94/95, 18.161 km<sup>2</sup>/ano - 95/96. Nos últimos anos a taxa anual de desmatamento parece ter se estabilizado 16.926 km<sup>2</sup>/ano - 98/99, 17.383 km<sup>2</sup> - 97/98, e 17.000 km<sup>2</sup> no ano de 2.000 e estimando que cerca de 14% de toda a floresta já foi destruída.

O exame do quadro acima não deixa dúvida que essas transformações já são profundas e inexoráveis, levando a citar MORAN et al. (1994), que ressaltam que o desmatamento da Amazônia representa hoje não só uma questão de preocupação, mas sobretudo de alarme internacional. Por outro lado, a atenção às altas taxas de desmatamento não se pode sobrepor ao fato de que, enquanto pecuaristas, colonos, madeireiras e a atividade de mineração avançam sobre áreas intactas de floresta, muitas áreas previamente desmatadas estão sendo abandonadas, dando início ao processo de regeneração e crescimento da vegetação secundária. Como resultado do avanço desse complexo de atividades humanas sobre a floresta amazônica, surge então uma paisagem formada por um mosaico de pastagens entre remanescentes de florestas primárias e áreas de abandono, ocupadas por uma vegetação secundária em diversos estágios de sucessão (UHL et al., 1988; NEPSTAD et al., 1991; MORAN et al., 1994;

SKOLE et al., 1994; FEARNSIDE, 1996).

Devido à sua dimensão, dificuldade de acesso, e necessidade de análise periódica, o emprego de técnicas convencionais de levantamento da vegetação, na região Amazônica, torna-se proibitivo. Neste contexto, vários trabalhos apresentam o sensoriamento remoto, a partir de sensores orbitais, como ferramenta adequada nas atividades de detecção e avaliação dos recursos naturais desta região.

Neste sentido, tem-se presenciado nas duas últimas décadas um vertiginoso avanço da informática, que propiciou o desenvolvimento e refinamento de poderosos conjuntos instrumentais voltados ao mapeamento, análise e representação de fatos relacionados à Terra. Esse conjunto de tecnologias, conhecido como Geoprocessamento, compreende, dentre outras coisas, o desenvolvimento e uso de técnicas de sensoriamento remoto e de sistemas de informações geográficas.

No intuito de analisar as diversas metodologias relacionadas ao processamento digital de imagens, possibilitando um maior acompanhamento da ocupação da Amazônia Legal Brasileira, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE tem aberto várias frentes de trabalho em sistemas informatizados. Desta forma, a utilização de algoritmos implementados a partir de modelos de mistura espectral (BERNARDES, 1994; PEREIRA, 1996) vêm contribuir para a caracterização daquela região, bem como, para o avanço das técnicas de sensoriamento remoto, notadamente aquelas relacionadas ao processamento digital de imagens.

O presente trabalho desenvolvido em uma área de floresta primária na Amazônia Oriental, vem em seu contexto global, fornecer subsídios aos procedimentos de avaliação de parâmetros florísticos-estruturais da floresta, por meio de dados Thematic Mapper/LANDSAT 5.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é estimar parâmetros estruturais de uma floresta tropical primária, de ocorrência no município de Moju, Estado do Pará, através de dados orbitais. Esta proposição é substantiada pelo estudo do relacionamento entre dados de campo e dados orbitais obtidos pelo satélite TM/LANDSAT.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Com base no objetivo principal pôde-se então, relacionar aqueles objetivos considerados específicos, que norteiam o procedimento adotado na presente pesquisa:

- a) Realizar a caracterização florístico-estrutural da floresta primária, através das variáveis biométricas: densidade das árvores, área basal, biomassa, volume e diversidade de espécies;
- b) Gerar imagens com a aplicação do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME), índice de vegetação ajustado para influência do solo (SAVI) e parâmetros texturais, a partir da imagem TM/Landsat;
- c) Avaliar a relação existente entre as variáveis biométricas e as variáveis digitais da imagem TM/Landsat, original e processada pelo MLME, SAVI e textura;



- d) Estimar parâmetros biométricos da floresta a partir de dados orbitais com a aplicação de modelos de regressão;
- e) Gerar mapas temáticos de variáveis biométricas a partir de imagens sintéticas geradas pela aplicação dos modelos de regressão ajustados.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 MODELO DE MISTURA ESPECTRAL

O fenômeno de mistura espectral tem sua origem na composição do elemento de resolução no terreno característico do sensor utilizado. O princípio deste modelo de mistura espectral consiste no fato do pixel de uma imagem ser suficientemente grande para incluir dois ou mais tipos de alvos, decorrente da não uniformidade da maioria das cenas naturais, ou seja, os alvos são menores do que a área no terreno abrangida por um pixel (HORWITZ et al. 1971; SHIMABUKURO e SMITH, 1991). Isto causa um problema de mistura de respostas espectrais de diferentes alvos, podendo incorrer em erros de sub ou superestimativa da área ocupada por um determinado alvo existente dentro do pixel (SHIMABUKURO e SMITH, 1995).

Este problema pode ser resolvido através da modelagem da relação entre os tipos e proporções dos componentes e as suas respostas espectrais. Esta última abordagem tem sido adotada por pesquisadores em todo mundo, onde modelos de mistura têm sido aplicados e analisados em diversos tipos de estudo sobre o problema (ADAMS et al., 1989a; ADAMS et al., 1989b; SHIMABUKURO e SMITH, 1991; HALL et al., 1995; SHIMABUKURO e SMITH, 1995).

A radiância detectada pelo sensor orbital é uma soma integrada das radiâncias de todos os alvos presentes no pixel, acrescida da contribuição atmosférica. Nos modelos lineares de mistura, a resposta de cada pixel é considerada uma combinação linear das respostas espectrais de cada componente existente na mistura (vegetação, água, solo, sombra, rochas), a qual pode ser representada por uma relação linear. Desta forma, cada pixel da imagem possui um valor digital, que contém a informação sobre a proporção e a resposta espectral de cada componente.

SHIMABUKURO et al. (1997) descrevem o modelo de mistura espectral pelo seguinte conjunto finito de equações:

$$r_i = s_{i1} \cdot a_1 + s_{i2} \cdot a_2 + \dots + s_{in} \cdot a_n + e_i$$

.

.

.

$$r_m = s_{m1} \cdot a_1 + s_{m2} \cdot a_2 + \dots + s_{mn} \cdot a_n + e_m$$

ou simplesmente:

$$r_i = \sum (s_{ij} \cdot a_j) + e_i$$

onde:

$r_i$  = reflectância espectral média na banda i, de um pixel com um ou mais componentes;

$s_{ij}$  = reflectância espectral do componente j, na banda i;

$a_j$  = proporção do componente j dentro do pixel;

$e_i$  = erro na banda i.

Várias técnicas de processamento digital foram propostas para solucionar o problema da mistura espectral. Entre elas, é possível citar a Programação Quadrática, Quadrados Mínimos com Restrições, Quadrados Mínimos Ponderado, Principais Componentes e Modelo de Regressão. Descrições detalhadas destes algoritmos podem ser encontradas em SMITH et al. (1985); SHIMABUKURO (1987) e AGUIAR (1991). Segundo HOLBEN e SHIMABUKURO (1993) os resultados produzidos por estas técnicas são bastante semelhantes entre si, sendo estas utilizadas em função da preferência pessoal do usuário.

Segundo SHIMABUKURO e SMITH (1991), a partir da aplicação do modelo cada imagem-proporção gerada é representante de cada um dos componentes escolhidos para serem separados e contém informações a respeito deste componente dentro do pixel original. Assim, cada pixel da imagem-proporção assume um valor digital, correspondente à proporção daquele componente no pixel da imagem original.

O modelo baseia-se no uso de pixels puros de referência, que são pixels da imagem original compostos por apenas um tipo de alvo. A identificação e escolha destes pixels pode ser realizada diretamente na imagem, a partir da análise do diagrama de dispersão dos seus pixels ou a partir do resgate de curvas espectrais dos pixels. Este procedimento de escolha pode ser baseado apenas na experiência do usuário ou também em dados de verdade terrestre (SHIMABUKURO et al., 1997).

A despeito do método de resolução da mistura espectral implementado, este modelo é dependente da correta determinação do número de componentes puros e suas respectivas assinaturas espectrais.

SMITH et al. (1990) mencionam que os valores de componentes puros selecionados a partir de imagens tornam-se válidos somente para a cena da qual foi extraído, não podendo ser utilizado em outras imagens, ou imagens de uma mesma área adquiridas por diferentes sistemas sensores ou sob condições atmosféricas ou de iluminação distintas. Esta utilização torna-se possível, no entanto, quando da adoção de procedimentos que visem a retificação das imagens.

ADAMS et al. (1989) exemplificam a utilização do modelo de mistura espectral em área florestada, através da seleção dos componentes puros vegetação e solo, adquiridos em áreas de máxima iluminação. Posteriormente, adicionam um componente sombra, o qual pode se misturar em todas as proporções com os demais componentes ou suas misturas, sendo responsável pela variação de iluminação em todas as escalas, incluindo sombras de ocorrência em “multipixels”, geradas pela topografia e sombras “subpixel”, geradas por árvores, arbustos ou outros objetos com rugosidade e textura. Para seleção dos “pixels” compostos apenas por sombra podem ser utilizadas sombras provocadas pelo relevo ou áreas escuras, como corpos de água sem sedimentos.

Uma vez que a lista de possíveis componentes tenha sido montada, uma estimativa final de seu número é realizada através de resoluções sucessivas da equação

de mistura, até que os erros observados sejam reduzidos (ADAMS et al., 1989; GILLESPIE et al., 1990).

Uma das características da análise da mistura espectral é permitir a estimativa do erro envolvido na modelagem do espectro de cada “pixel” como mistura de componentes. Este erro pode ser devido ao não reconhecimento de um dos componentes, um ou mais componentes considerados podem não ser apropriados, ou parte da variação espectral na imagem é causada pela atmosfera, instrumentos ou outros efeitos extrínsecos à superfície (ADAMS et al., 1989; GILLESPIE et al., 1990).

Diversos são os trabalhos que indicam os componentes vegetação, solo e sombra como constituintes básicos de cenas florestadas (SHIMABUKURO et al., 1997; AGUIAR, 1991). Alguns trabalhos incluem um quarto componente para caracterizar áreas florestadas, como madeira (NASCIMENTO, 1997) ou material vegetal não-fotossintético referente a análise de tronco (PEREIRA et al., 1998).

SHIMABUKURO et al. (1997), para a análise da taxa de desflorestamento de área localizada em Rondônia, utilizaram imagens sombra geradas a partir de imagens TM/LANDSAT, por apresentarem um grande contraste entre áreas florestadas, com média quantidade de sombras, e áreas desflorestadas, com baixa quantidade de sombras. AGUIAR (1991) confirmou a importância do componente sombra para explicar diferenças encontradas na estrutura do dossel e a influência positiva dessas informações no processo de classificação automática.

### 3.2 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Um índice de vegetação é um resultado numérico que é gerado por algumas combinações algébricas de bandas espectrais de sensoriamento remoto e que podem trazer informações úteis sobre vegetação em uma imagem (RICHARDS, 1986).

O desenvolvimento de metodologias para determinação de índices de

vegetação teve seu maior incremento a partir da operacionalização do sensor TM da série LANDSAT, com a finalidade inicialmente de acompanhar o desenvolvimento de culturas agrícolas, tiveram seu uso estendido também para o mapeamento da vegetação e para sua avaliação com relação a desfolhamentos, colheitas e cortes rasos (SZEKIELDA, 1988). Diversos estudos têm demonstrado correlações significativas entre os índices e parâmetros da vegetação, como o Índice de Área Foliar (LO, 1986; RUNNING et al., 1989); funções fisiológicas dos dosséis, como capacidade fotossintética, produtividade e estresses (MYNENI et al., 1995) e biomassa (SANTOS, 1988).

O princípio dos índices de vegetação consiste na exploração do comportamento espectral da vegetação na região do vermelho, que apresenta baixa reflectância, e na região do infravermelho próximo, que apresenta alta reflectância (SHIMABUKURO e SMITH, 1995). Com o aumento quantitativo da vegetação, a reflectância na região do vermelho tende a diminuir, enquanto no infravermelho próximo tende a aumentar. Os índices de vegetação exploram este dinamismo, caracterizado por contrastes nos valores de reflectância destas duas bandas (JACKSON e HUETE, 1991; MYNENI et al., 1995).

A escolha das bandas a serem utilizadas dependerá dos objetivos do trabalho, do objeto de estudo e da experiência do usuário (SHIMABUKURO e SMITH, 1995). No entanto, as bandas que têm se mostrado mais valiosas e assim mais utilizadas, são as relativas ao vermelho e ao infravermelho próximo (HUETE, 1988; BARET e GUYOT, 1991; MYNENI et al., 1995). Devido à sua extensa aplicabilidade e simples implementação, vários índices de vegetação foram criados e modificados ao longo dos últimos anos.

PERSON e MILLER (1972), utilizando dados de radiometria para estimar a fitomassa de gramíneas, sugeriram o Índice de Vegetação Razão Simples (SR), como resultante da relação entre resposta espectral no infravermelho próximo e no vermelho.

O uso do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) para monitoramento da vegetação foi apresentado por ROUSE et al. (1973), pelo qual o NDVI é resultante da relação da diferença entre infravermelho próximo e o vermelho e da adição do infravermelho próximo e do vermelho. Uma variação do NDVI foi proposta por DEERING et al. (1975) por meio da adição do valor 0,5 a equação do NDVI e da extração da raiz quadrada do resultado, definindo a Razão Normalizada e Transformada (TVI).

Uma grave limitação associada ao uso dos índices de vegetação são as contribuições de outros fatores na resposta da vegetação. O fluxo radiante proveniente da superfície terrestre contém informações das propriedades bio-físico-químicas de todos os alvos nela presentes, como solo, água, vegetação, sombra, entre outros (COLWELL, 1974). Porém, o objetivo principal dos índices de vegetação consiste na extração de informações apenas sobre as características dos dosséis, minimizando o efeito de fatores externos, aos quais os índices também são sensíveis (BARET e GUYOT, 1991; JACKSON e HUETE, 1991).

Estes fatores têm sido relatados em diversos estudos como sendo relativos às propriedades do solo e à atmosfera (HUETE, 1988; BARET e GUYOT, 1991; JACKSON e HUETE, 1991; CURRAN et al., 1992), à arquitetura do dossel, aos ângulos solar e de visada (FIGUEIREDO, 1990; CURRAN et al., 1992) e às características dos sensores (JACKSON e HUETE, 1991).

HUETE et al. (1985) estudaram a influência de quatro tipos de solo na resposta espectral de dosséis de algodão, com diferentes graus de cobertura, constatando que a interferência deste fator está presente não só em dosséis pouco densos, como também naqueles com quase 75% de cobertura vegetal. A influência do solo também foi analisada no trabalho de HUETE (1987).

Com relação a este problema de interferência do solo na resposta da vegetação, foi desenvolvido o SAVI, um índice de vegetação com o objetivo de

minimizar o efeito do solo na resposta da vegetação. Os índices de vegetação baseiam-se na existência de uma linha de solo, no espaço bidimensional vermelho x infravermelho próximo, que se afasta da origem para níveis de brilho do solo maiores. Os solos mais escuros resultam em valores de índices de vegetação mais altos, sendo que esta sensibilidade é maior quando a densidade de vegetação é intermediária (50%). Quando a densidade é muito baixa (inferior a 30%), não há vegetação suficiente para causar um efeito de mistura de respostas e a curva de vegetação aproxima-se à do solo (HUETE, 1989). Se a densidade é muito alta, não há sinais significantes de solo provenientes do dossel. Partindo destes fatos, HUETE (1988) acrescentou ao NDVI um fator “L”, variando de 0 a 1 dependendo do grau de cobertura da vegetação, originando o SAVI, que em princípio minimizou com sucesso a influência do solo em dois tipos de culturas (dicotiledôneas e monocotiledôneas).

RONDEAUX et al. (1996) realizaram um estudo onde analisaram quatro índices de vegetação em função da densidade da vegetação, para diferentes geometrias e solos. Os resultados comprovaram as informações fornecidas por BARET e GUYOT (1991), mostrando que o NDVI satura para valores de IAF (Índice de Área Foliar) acima de 3. Para IAF's entre 0,5 e 3, a grande amplitude dos valores de NDVI pode implicar em erros ao tentar recuperar o grau de densidade da vegetação, representado pelo IAF, a partir dos valores de NDVI. E para IAF's abaixo de 0,1, a resposta da vegetação é equivalente à curva do solo. Ou seja, o NDVI fornece uma informação pobre sobre a vegetação quando informações sobre o solo são desconhecidas. Os autores também testaram o SAVI, o TSAVI e o MSAVI, que mostraram melhor desempenho.

Outro estudo comparativo foi realizado por BARET et al. (1995), que compararam seis tipos de índices e constataram que o NDVI foi o mais pobre de informações. O SAVI e seus derivados (TSAVI e MSAVI) apresentaram os melhores resultados, sendo que o GEMI e o PVI foram intermediários, porém satisfatórios. Todos os índices estudados, exceto o NDVI, forneceram boas correções para os efeitos



do solo.

Segundo ROBINOVE (1982), os índices de vegetação devem ser obtidos utilizando valores de reflectância, que variam de 0 a 1. Estes valores podem ser discretizados dentro do intervalo 0 a 255, de modo que apresentem a mesma amplitude das imagens em valores de nível de cinza ou dentro do intervalo 0 a 1 ou 0 a 100, de modo que representem frações ou porcentagens da resposta da vegetação de um determinado pixel.

GUYOT e GU (1994) realizaram um trabalho onde também demonstraram a necessidade dessa transformação antes da interpretação de dados multiespectrais. Estes autores utilizaram dados do LANDSAT e do SPOT, com diferentes calibrações e bandas espectrais, para obtenção de valores de NDVI de uma mesma área, em uma mesma data. Assim como no trabalho de ROBINOVE (1982), concluíram que os valores de NDVI calculados a partir de valores digitais apresentam erros, onde um mesmo valor de NDVI obtido por valores digitais pode corresponder a diferentes valores de NDVI obtidos em campo.

À medida que os estudos em vegetação progridem, que os conhecimentos sobre a interferência do solo e da atmosfera avançam e que as propriedades espectrais da vegetação vão sendo melhor compreendidas, mais índices vão sendo desenvolvidos. Cada um deles tem uma particularidade, realçam ou consideram um determinado fator de interesse, podendo-se escolher o índice que melhor se ajuste aos objetivos do estudo realizado.

### 3.3 ANÁLISE DE TEXTURA

Textura é uma importante característica para análise de muitos tipos de imagens, pois contém informações sobre a distribuição das variações tonais em uma banda (HARALICK, 1979). A textura é uma extensão da tonalidade. O tom é

reproduzido como um valor integral de todos os tons de cinza dos elementos de resolução. A textura, pelo contrário, produz-se pelo tipo de distribuição espacial e geométrico dos diferentes tons.

As características de textura são baseadas em estatísticas que indicam a distribuição relativa, a qual descreve a frequência com que um determinado nível de cinza é encontrado em uma relação espacial específica com outro nível de cinza como também nas dimensões e formas do conjunto de sua distribuição (HARALICK et al. 1973). Para WOODCOCK e STRAHLER (1987) a estrutura espacial de imagens é uma indicação da relação entre a cena imageada e a resolução espacial do sensor.

Segundo PEDDLE e FRANKLIN (1991) análise de textura pode ser utilizada para minimizar confusões provenientes do comportamento espectral semelhante entre alguns alvos.

Conforme relata LOBO (1997), uma das maiores dificuldades no mapeamento temático realizado a partir de imagens digitais de sensoriamento remoto decorre das heterogeneidades das categorias de cobertura da terra, as quais apresentam uma aparência texturada. Como resultado, os elementos da paisagem não se caracterizam por um valor uniforme de reflectância, mas por uma distribuição marcada pela autocorrelação espacial. Assim, a importância da textura para discriminar categorias em cenas naturais tem sido reconhecida já a algum tempo.

A partir da década de 70, vários métodos de processamento de imagens foram desenvolvidos para análise de texturas, a maioria dos quais baseia-se na distribuição espacial dos níveis de cinza de um segmento de imagem. Estes métodos incluem: (a) a caracterização da frequência espacial baseada na autocorrelação (HARALICK, 1979); (b) a transformação óptica (LENDARIS e STANLEY, 1970) ou de Fourier (GRAMENOPOULOS, 1973); (c) a quantificação de borda usando medidas da propriedade local, como o gradiente de Roberts (ROSENFELD e THURSTON, 1971); (d) a utilização do histograma de intensidade (NAGAO et al., 1976) ou dos

extremos (ou seja, máxima e mínima) de níveis de cinza (CARLTON e MITCHELL, 1977; MITCHELL et al., 1977) e (e) as medidas calculadas a partir da probabilidade de co-ocorrência de níveis de cinza (HARALICK et al., 1973). Além desses métodos, mais recentemente, outras abordagens investigadas para caracterizar as informações texturais são: o método de semivariograma descrito por CURRAN (1988), como também em WOODCOCK et al. (1988), JUPP et al. (1989) e MIRANDA et al. (1992); a unidade textural proposta por WANG e HE (1990); o filtro Gabor utilizado por KHAZENIE e RICHARDSON (1992); e os modelos de campos aleatórios markovianos citados por CHELLAPPA e JAIN (1993).

Segundo LIPKIN e ROSENFELD (1970) e MARCEAU et al. (1990), todos os métodos de análise textural podem ser classificados em duas categorias: estatística e estrutural. Na abordagem estatística, a informação textural é representada pela propriedade estatística da distribuição espacial dos níveis de cinza. Na abordagem estrutural, a textura é um conjunto de subpadrões espaciais (ou primitivos) na imagem com uma regra de arranjo ou deslocamento específica. Entretanto, ambos os subpadrões e a regra de arranjo podem ser caracterizados estatisticamente. Por isso, as diferenças entre a categoria estatística e a categoria estrutural não são nítidas, pois métodos classificados por um autor, em um tipo de abordagem, podem ser classificados de modo diferente por outro autor (VAN GOOL et al., 1985). GONZALEZ e WOODS (1993) distinguem uma terceira abordagem, denominada espectral, onde os padrões globais de textura são descritos e analisados no domínio de frequências espaciais definidas através de transformação de Fourier. Aparentemente, como ressalta LOBO (1997), as texturas naturais são melhor definidas e identificadas pela análise estatística, devido a sua inerente componente estocástica.

Na área de sensoriamento remoto os métodos estatísticos são frequentemente escolhidos para estudar a informação textural de imagens. Isso porque as imagens, de modo geral, possuem texturas estocásticas, além de não ser comum encontrar

subpadrões em todas as regiões de uma imagem (SALI e WOLFSON, 1992). Segundo HARRIS (1980), os métodos estruturais são mais apropriados quando os alvos analisados apresentam padrões regulares (i. e., textura determinística denominada no estudo de WECHSLER (1980)), tais como pomares, reflorestamentos ou áreas urbanas planejadas.

A abordagem da MCNC (Matriz de Co-ocorrência de Níveis de Cinza) caracteriza a textura através da estimativa da distribuição de probabilidade conjunta de níveis de cinza de dois “pixels” situados em certa posição da imagem. A estimativa desta probabilidade conjunta é feita através da matriz de co-ocorrência espacial de níveis de cinza. Esta abordagem baseia-se na suposição de que a informação textural é contida na relação espacial global ou média dos níveis de cinza da imagem.

Todas as estatísticas derivadas a partir da MCNC são de segunda ordem e discriminam melhor as texturas, especialmente nos casos em que suas estatísticas de primeira ordem são semelhantes. Os descritores texturais, obtidos a partir da MCNC, também foram usados na classificação através do método de rede neural (HONG et al., 1992; DREYER, 1993).

Cada medida derivada da MCNC pode ser usada para criar uma nova imagem de textura ou banda que, por sua vez, pode ser incorporada ao atributo espectral dos dados de satélite. Esta abordagem estatística descritiva tem a dupla vantagem de captar a informação espacial significativa, requerida na discriminação de categorias úteis (CONNERS e HARLOW, 1980), e ser compatível com os modelos probabilísticos existentes (MARCEAU et al., 1990).

ARAI (1993) procurando estabelecer uma relação entre o tipo de cobertura e o tamanho de janela necessária para captar as nuances da textura, observou que os diferentes tipos de cobertura apresentam características espectrais e espaciais tão distintas entre si que cada classe seria melhor classificada com um tamanho diferente de janela. Desta forma, buscou estabelecer uma relação ótima entre os tipos de

cobertura e as janelas a serem utilizadas para toda a imagem e observou que o uso de janelas pequenas (2x2, 3x3) apresentou melhores resultados.

Nas últimas décadas muitos pesquisadores têm testado a análise de textura, porém em geral os estudos restringem-se na avaliação da influência de parâmetros texturais no desempenho de classificação digital de imagens de satélites (PEDDLE e FRANKLIN, 1991; SALI e WOLFSON, 1992; ARAI, 1993; BIJLSMA, 1993; KUSHWAHA et al., 1994).

MARCEAU et al. (1990) utilizaram informações texturais na classificação e os resultados deste estudo mostraram que o tamanho da janela usado na MCNC teve um papel fundamental e explicou 90% da variação da classificação, e que, para cada classe há um tamanho de janela apropriado. As estatísticas texturais escolhidas têm um papel secundário com 7% de melhoramentos, enquanto a contribuição do nível de quantização não foi significativa.

Com os descritores texturais obtidos através da dependência espacial (co-ocorrência) de níveis de cinza da banda 5 do MSS/LANDSAT da Califórnia, HARALICK E SHANMUGAN (1974) alcançaram 70% de classificação correta para as sete classes de uso da terra estudadas, a qual é apenas ligeiramente inferior à obtida usando informações espectrais das quatro bandas daquele sensor (74%). Contudo, uma melhoria substancial do desempenho da classificação (83,5%) foi obtida, quando ambas as informações (espectral e textural) foram usadas na classificação.

As altas variações espectrais de floresta e a área urbana/suburbana apresentadas nas imagens SPOT e TM/LANDSAT sugeriram o uso de informações textural e contextual para analisar os dados destes sensores (WOODCOCK E STRAHLER, 1987). Entretanto, entre vários descritores texturais testados, YOOL et al. (1986) concluíram que o filtro de desvio padrão não melhorou a classificação de florestas numa área montanhosa no sul da Califórnia.

FRANKLIN e PEDDLE (1990) utilizaram características texturais como

segundo momento angular, entropia e momento da diferença inversa na classificação de uso do solo de imagens SPOT HRV, e observaram aumentos significativos na acurácia, de aproximadamente 35%.

No estudo de ARAI (1991) foram usadas informações multitemporais espectrais e texturais derivadas de dados TM/LANDSAT na classificação de diversos alvos. Os resultados mostraram que uma melhoria de classificação espectral multitemporal com a média ponderada de 32,9% foi obtida em relação à classificação espectral unitemporal, enquanto a adição da informação textural contribuiu com uma melhoria moderada de 1,6 a 4,7%, dependendo do descritor textural selecionado.

No caso de florestas, devido às variações espectrais causadas pelas variáveis estruturais como: a forma, a densidade da população e a altura das árvores, o tamanho do dossel, etc., a textura é um dos fatores principais usados por fotointérpretes para identificar suas classes nas fotografias aéreas (STRAHLER et al., 1979). Estas variáveis estruturais também reproduzem padrões texturais nas imagens de satélites (HARRIS, 1980). ROY et al. (1991) utilizaram a textura, a cor, a associação e o padrão para identificar visualmente alguns tipos de florestas tropicais na Índia com imagens TM/LANDSAT. Além disso, eles realçaram a textura de imagens usando uma estatística de primeira ordem (i. e., variância), para discriminar as densidades de florestas. NELSON (1994) observou uma textura “salpicada” de floresta densa de terra firme em uma área da Amazônia em imagens do TM/LANDSAT. Utilizando as informações de cor e textura, ele concluiu que alguns tipos de florestas (p. ex., floresta primária de terra firme, floresta secundária, florestas sujeitas à inundação e floresta de bambu) podem ser separados visualmente em produtos fotográficos em falsa-cor.

HILL e FOODY (1994) aplicaram o filtro da média nas bandas 4 e 7 do TM/LANDSAT para extrair informações espaciais que foram usadas na classificação de floresta da Amazônia peruana. Eles concluíram que quatro grupos de floresta como: floresta com bambus, floresta aluvial, floresta submontana e floresta de terra firme,

podem ser discriminados através do uso deste filtro.

KUSHWAHA et al. (1994) testando o segundo momento angular, a entropia e a homogeneidade em imagens de florestas secundárias do sensor SPOT, concluíram que o Segundo Momento Angular foi de pouco auxílio para a classificação correta da imagem, tanto quando utilizado isoladamente ou em conjunto com os outros parâmetros. A homogeneidade apresentou melhores resultados do que a Entropia, e quando estes dois foram utilizados simultaneamente, observou-se uma melhoria de 11,1 % na acurácia da classificação.

LUZ e LINGNAU (2000) em uma área de contato entre Floresta Ombrófila Mista e Floresta Estacional Semidecidual avaliaram a melhoria da classificação digital através de informações texturais aliadas às informações espectrais de uma imagem LANDSAT e observaram que, dos oito parâmetros texturais avaliados, somente os parâmetros média e variância conduziram à melhoria significativa na acurácia da classificação.

### 3.4 ESTIMATIVA DE PARÂMETROS ESTRUTURAIS DA FLORESTA ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO.

MULLER-DOMBOIS e ELLENMBERG (1974) definem estrutura da vegetação como a organização dos indivíduos que formam o conjunto no espaço, conforme a extensão e tipo de vegetação ou associação de plantas que compõem esse conjunto. Segundo os autores, os elementos principais que compõem a estrutura da vegetação são: forma como os indivíduos crescem, estratificação e cobertura (distribuição espacial dos indivíduos).

Para HUSCH et al. (1972) a estrutura de uma floresta é a distribuição de espécies e quantidades de árvores numa área florestal, sendo o resultado dos hábitos de crescimento das espécies e das condições ambientais onde a mesma se originou e desenvolveu.

Estudos envolvendo relações entre parâmetros estruturais de florestas e parâmetros radiométricos existentes em imagens orbitais têm se tornado cada vez mais frequentes (SANTOS, 1988; ARDÖ, 1992; SOUSA, 1997). Nesses estudos é comum a aplicação de testes estatísticos com o objetivo de avaliar o grau de correlação entre estes parâmetros através de abordagens que incluem a análise individual da ação de um parâmetro específico sobre outro (variável independente versus variável dependente).

Relações altas e negativas entre volume de madeira em povoamentos de coníferas e valores de radiância de imagens TM/LANDSAT foram mencionados por HORLER e AHERN (1986); ARDÖ (1992) e TROTTER et al. (1997), tendo a banda TM 5 se mostrado a mais sensível à variação do volume de madeira.

Considerando-se os talhões em grupos de acordo com o volume, até 150 m<sup>3</sup>/ha e entre 150 e 300 m<sup>3</sup>/ha, foi possível observar que o grupo com menor volume de madeira apresentou maiores correlações em relação ao outro grupo de maior volume (ARDÖ, 1992).

SOUSA (1997) avaliou a sensibilidade de imagens índice de vegetação e imagens proporção originadas do sensor TM/LANDSAT e verificou que estas não foram sensíveis às variações de volume decorrentes da realização de desbastes em talhões de *Pinus* spp.

Para classificar o volume de madeira em área de florestas STRAHLER et al. (1979) transformaram a imagem da banda 5 do MSS/LANDSAT em uma imagem textural, através do desvio padrão de uma janela móvel de 3x3 “pixels”. Esta informação textural foi posteriormente usada como um fator na estratificação do estudo de inventário florestal realizado na Califórnia (STRAHLER, 1981).

SOUSA e PONZONI (1998) realizaram estudo visando o desenvolvimento metodológico para estimativas de parâmetros dendrométricos a partir de dados orbitais; no estudo foi avaliada a sensibilidade das bandas do satélite TM/LANDSAT 5 e de índices de vegetação para detecção de alterações no volume de madeira em



reflorestamentos adultos e densos de *Pinus* sp, acrescenta-se ainda que os povoamentos tiveram intervenções de desbaste. As análises realizadas com os dados orbitais mostraram fracas correlações com o volume de madeira, exceto o GNDVI (utiliza a banda 2 no lugar da 3) e o MVI (utiliza uma das bandas do infravermelho médio no lugar da banda do visível), podendo-se assim detectar a variação do volume de madeira, os quais apresentaram correlações significativas.

SHIMABUKURO e SMITH (1995) realizaram trabalho em áreas de plantios de *Eucalyptus* e *Pinus*, e constataram a sensibilidade das imagens-sombra à estrutura do dossel, podendo-se distinguir plantios de *Eucalyptus* e de *Pinus*; diferentes idades de *Eucalyptus* (mais jovens, menor proporção de sombra) e diferentes espécies de *Pinus* (*Pinus elliottii* possui menor proporção de sombra).

HALL et al. (1995) utilizaram o modelo linear de mistura em conjunto com modelos geométricos para estimar parâmetros estruturais em plantios de coníferas. Os gráficos desse trabalho mostram que a proporção de sombra aumenta à medida que a proporção de copa iluminada aumenta, até um determinado ponto de saturação, onde a proporção de sombra começa decrescer. Este comportamento está associado às proporções dos pixels correspondentes a dossel iluminado e aos ângulos zenitais. Para todos os ângulos zenitais este comportamento está presente, no entanto, o ponto de saturação diminui à medida que o ângulo aumenta. Ainda nesse trabalho, foi demonstrado que as proporções de sombra aumentavam com o aumento da biomassa.

Mediante a aplicação de índices de vegetação, SANTOS (1988) verificou uma melhor correlação da banda 3 TM/LANDSAT com valores de fitomassa foliar em uma área de cerrado "stricto sensu".

Os índices obtidos com dados do sensor AVHRR mostram uma grande utilidade na descrição e distribuição da biomassa vegetal em larga escala, bem como das mudanças fenológicas sobre determinadas áreas de interesse no mundo todo. Neste contexto destaca-se o estudo nos trópicos úmidos realizado por ACHARD et al.

(1998), resultando em mapas dos pontos críticos de redução de biomassa, contendo ainda informações sobre os indicadores de suas causas e efeitos.

GURGEL et al. (2001) identificaram e avaliaram os padrões espaciais e temporais de variabilidade do NDVI no Brasil, nas escalas anual e interanual e diagnosticaram as principais características associadas às mudanças de grande escala de NDVI. BATISTA et al. (1997) utilizaram dados de NDVI da Amazônia, no período de 1981 a 1991, e determinaram as variações interanuais de biomassa florestal associadas a mudanças nas condições ambientais. BIRKY (2001) estudou, a partir de imagens NOAA, a dinâmica de florestas decíduas norte americanas através de variações temporais de NDVI, e sua relação com a biomassa foliar e taxa de produtividade primária.

Modelos de mistura espectral e NDVI foram aplicados por MASELLI (2000) em imagens NOAA para estimar a biomassa de florestas na região Toscana da Itália. TAKEUCHI e INANAGA (2000) utilizaram modelos de mistura espectral em imagem fusão TM/LANDSAT para avaliar a biomassa das florestas japonesas.

MASELLI et al. (2001) apresentaram um procedimento no qual a biomassa vegetal de ambientes mediterrâneos foi avaliada através da integração de dados dos sensores TM e AVHRR. A partir dessa integração foram gerados dados de NDVI com resolução espacial de imagem TM e frequência temporal de imagens AVHRR.

ARAÚJO (1999) analisou a utilização de imagens TM/LANDSAT e JERS-1 para quantificação de biomassa em áreas de contato floresta/savana na região centro-norte do Estado de Roraima. Os resultados indicaram a existência de correlação significativa entre biomassa e dados sensoriados, especialmente na análise das formações florestais, onde a variável referente aos valores digitais da banda 4 do TM/LANDSAT foi a que melhor se correlacionou com o parâmetro biofísico analisado.

ZERBINI e SANTOS (1993) aplicaram imagens transformadas para estimar

biomassa foliar em floresta tropical, a partir de dados TM/LANDSAT e dados de biomassa obtidos em campo. Os resultados mostraram que os dados de mistura foram mais eficientes que os valores de NDVI para as áreas de floresta, porém ambos os processamentos são de fácil implementação e garantem uma boa distinção das feições.

BERNARDES (1998) utilizou valores digitais, calculados a partir da aplicação de um modelo linear de mistura espectral e índices de vegetação para analisar floresta primária e estágios sucessionais no interior e proximidades da Floresta Nacional de Tapajós. Os valores digitais foram comparados e analisados com parâmetros biofísicos e indicaram elevada correlação com área basal e biomassa.

PEREIRA et al. (2000) desenvolveram um estudo de avaliação da alteração do estoque de carbono a partir de dados de biomassa obtidos por imagens de satélite LANDSAT, entre os anos de 1973 e 1997 em uma região do sudeste do Pará. O autor constatou a diminuição de 53,6% do estoque de carbono da biomassa viva acima do solo.

Freqüentemente são ajustados modelos entre parâmetros biofísicos e parâmetros radiométricos, de forma que seja possível inferir sobre as características de um dossel florestal a partir de dados de imagens orbitais. Dentre os estudos mencionados, SANTOS et al. (1998) obtiveram um relacionamento entre o retroespalhamento de uma imagem JERS-1 e valores de biomassa de áreas de floresta primária e sucessão secundária da Amazônia, com um  $R^2 = 0,429$ . Esta função foi melhorada combinando-se as bandas 3, 4 e 5 do sensor TM/LANDSAT, obtendo-se um  $R^2 = 0,774$  ( $r = 0,88$ ). Somente com o uso de imagens TM/LANDSAT, AMARAL et al. (1996) obtiveram relações lineares para a sucessão secundária de áreas abandonadas na Amazônia, entre o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) e IAF, e NDVI e área basal, com  $R^2 = 0,77$ , considerando estes resultados além das expectativas, quando comparados aos resultados obtidos por BOX et al. (1989), com um  $R^2 = 0,0547$  entre IAF e NDVI, e um  $R^2 = 0,118$  entre NDVI e biomassa. Em florestas de *Pinus*, JAKUBAUSKAS e PRICE (1997) obtiveram  $R^2 =$

0,62 com o IAF em função do NDVI, e de 0,59 para biomassa em função do NDVI, enquanto KAZMIERCZAK (1992), para *Pinus* e *Araucaria angustifolia*, verificou que a melhor variável para relacionamento foi a área basal, com a banda 5 do TM/LANDSAT, para ambos os povoamentos, mas com um pobre ajuste:  $R^2 = 0,3594$  para *Araucaria angustifolia*, e  $R^2 = 0,6593$  para *Pinus*.

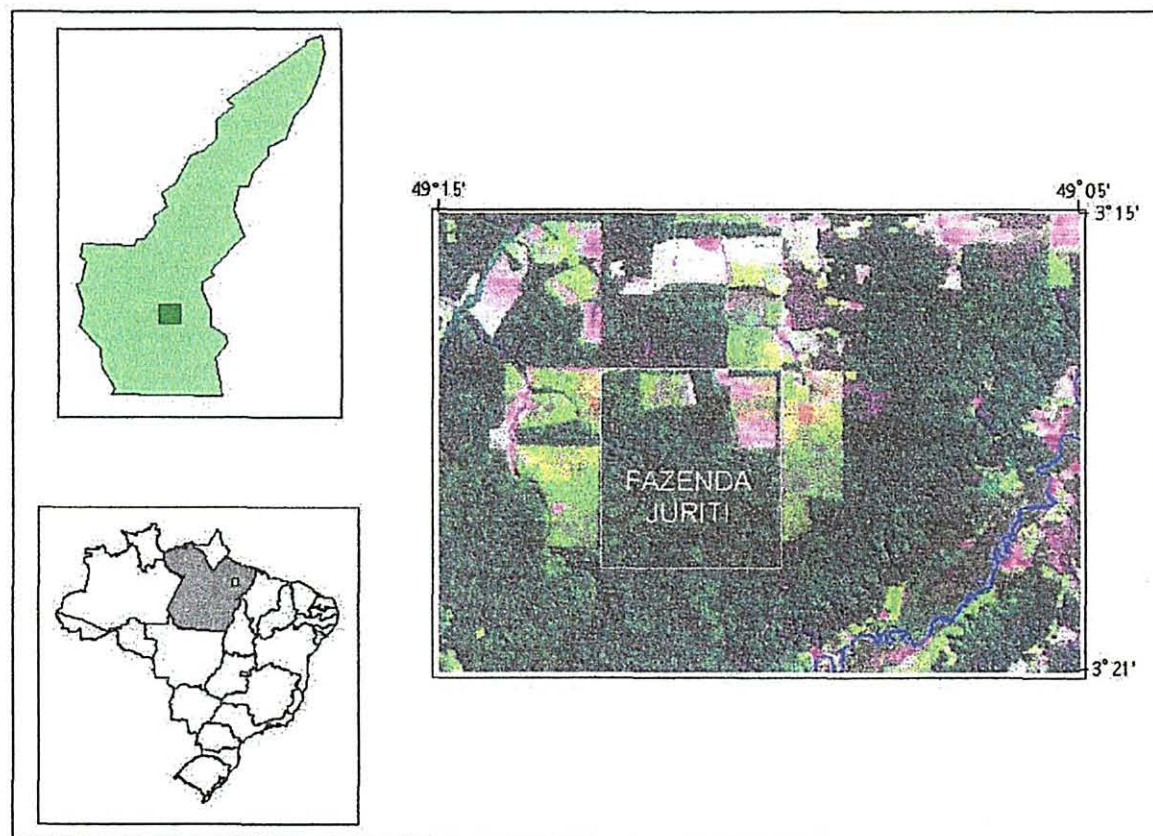
Apesar da viabilização dos produtos digitais, suas sensibilidades quanto à quantificação de parâmetros biométricos em ambiente amazônico ainda são pouco conhecidas, principalmente por sua grande diversidade florística, fisionômica e fenológica.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

**Localização:** A área de estudo está situada a Nordeste do Estado do Pará, município de Moju, entre as coordenadas geográficas  $03^{\circ}15'$  e  $03^{\circ}21'$  de latitude Sul e  $49^{\circ}05'$  e  $49^{\circ}15'$  de longitude WGr, tendo sido o levantamento de campo executado em uma área da Fazenda Juriti, propriedade da Empresa CIMATAL S.A.(FIGURA 1).

FIGURA 1- LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO



**Geologia e Relevo:** Segundo o RADAM-BRASIL (1974), a geologia é representada basicamente pelos grupos Barreiras, pertencentes ao período terciário, e Tocantins pertencente ao período pré-cambriano superior, pela formação Itapicuru que pertence ao Cretáceo como também pelos Aluviões pertencentes ao período quaternário. As unidades geomorfológicas da área são do Planalto Rebaixado da Amazônia e Planalto Setentrional Pará-Maranhão. As formas de relevo dominantes na área apresentam topografia plana com declives entre 0 a 3% e suave ondulado com declives de 3 a 8%.

**Solos:** Os solos mais bem representados são os Latossolos Amarelos álicos, argilosos, cujo estágio de referência sob floresta é caracterizado pela presença de um horizonte médio, poroso, fortemente microagregado, situado entre dois horizontes menos porosos (SUDAM/OEA, 1988). Quimicamente são solos pobres, fortemente a extremamente ácidos, com pH em H<sub>2</sub>O variando de 3,8 a 4,9 no horizonte B e de 4,4 a 5,0 no horizonte A. Apresentam uma saturação com bases extremamente baixa, com valores iguais ou menores que 4% no horizonte B e variando de 2 a 17% no horizonte A. A saturação com alumínio trocável é muito alta no horizonte B (77 a 100%), podendo ser igual ou inferior na parte superficial. O material original desses solos é composto pelos sedimentos terciários do Grupo Barreiras, que são aí essencialmente constituídos de minerais resistentes à alteração, como a caulinita, o quartzo, os hidróxidos de ferro e alumínio.

**Clima:** De acordo com SUDAM/OEA (1988) o clima é do tipo Af<sub>i</sub> pela classificação de Köppen. Caracteriza-se por apresentar o mês mais seco do ano com uma precipitação média igual ou superior a 60 mm. A temperatura média anual está em torno de 26°C, a amplitude térmica é bastante reduzida, variando de mais ou menos 5°C. A precipitação média anual é de 2.500 mm, ocorrendo maior precipitação no período de fevereiro a abril (300 a 400 mm) e diminuição significativa no índice médio pluviométrico no período de agosto a novembro (50 a 100 mm). A umidade relativa do ar é elevada durante todo o ano, com média mensal em torno de 85%.

**Vegetação:** de acordo com o sistema de classificação fitofisionômica proposto por Ellemberg e Mueller-Dombois<sup>1</sup> (1965/66), citados por IBGE (1992), e adotado e adaptado às condições brasileiras por VELOSO et al. (1991) e IBGE (1992), a vegetação da área estudada é do tipo Floresta Ombrófila Densa. A área de estudo é constituída por floresta primária, cujo dossel atinge 40 metros de altura e o sub-bosque é denso. Apresenta espécies de valor econômico como acapu (*Vouacapoua americana* Aubl.) maçaranduba (*Manilkara huberi* (Ducke) Standl.), sucupira (*Bowdichia brasiliensis* Benth), angelim pedra (*Dinizia excelsa* Ducke), jarana (*Holopyxidium jarana* Ducke), e outras.

## 4.2 PRODUTOS UTILIZADOS

### 4.2.1 Imagens Orbitais e Material Cartográfico

Para aquisição da imagem digital Landsat TM-5 considerou-se a boa visibilidade, pouca ocorrência de nuvens e a disponibilidade da imagem. Utilizou-se as bandas 3, 4 e 5, órbita/ponto 224/62 de 28 de julho de 1999.

Objetivando principalmente dar suporte cartográfico às informações obtidas a partir das imagens digitais, foram utilizadas cartas topográficas do DSG (Diretoria de Serviço Geográfico), escala 1:100.000: Fazenda Mamorana/Folha AS.22-Z-D-I/MI-600, Soledade/ Folha AS.22-Z-B-IV/ MI-539. Estas cartas foram também utilizadas como instrumento de apoio ao trabalho de campo.

### 4.2.2 Sistema de Processamento de Imagens

Para as etapas de pré-processamento e processamento dos dados digitais, empregou-se o software Environment for Visualizing Images (ENVI), versão 3.2.

---

<sup>1</sup> ELLENBERG, H.; MUELLER-DOMBOIS, D. Tentative physiognomic-ecological classification of plant formations of the earth. Bericht Uber das Geobotanische Institut Rübel, Zurich, v. 37, p. 21-55, 1965/6.

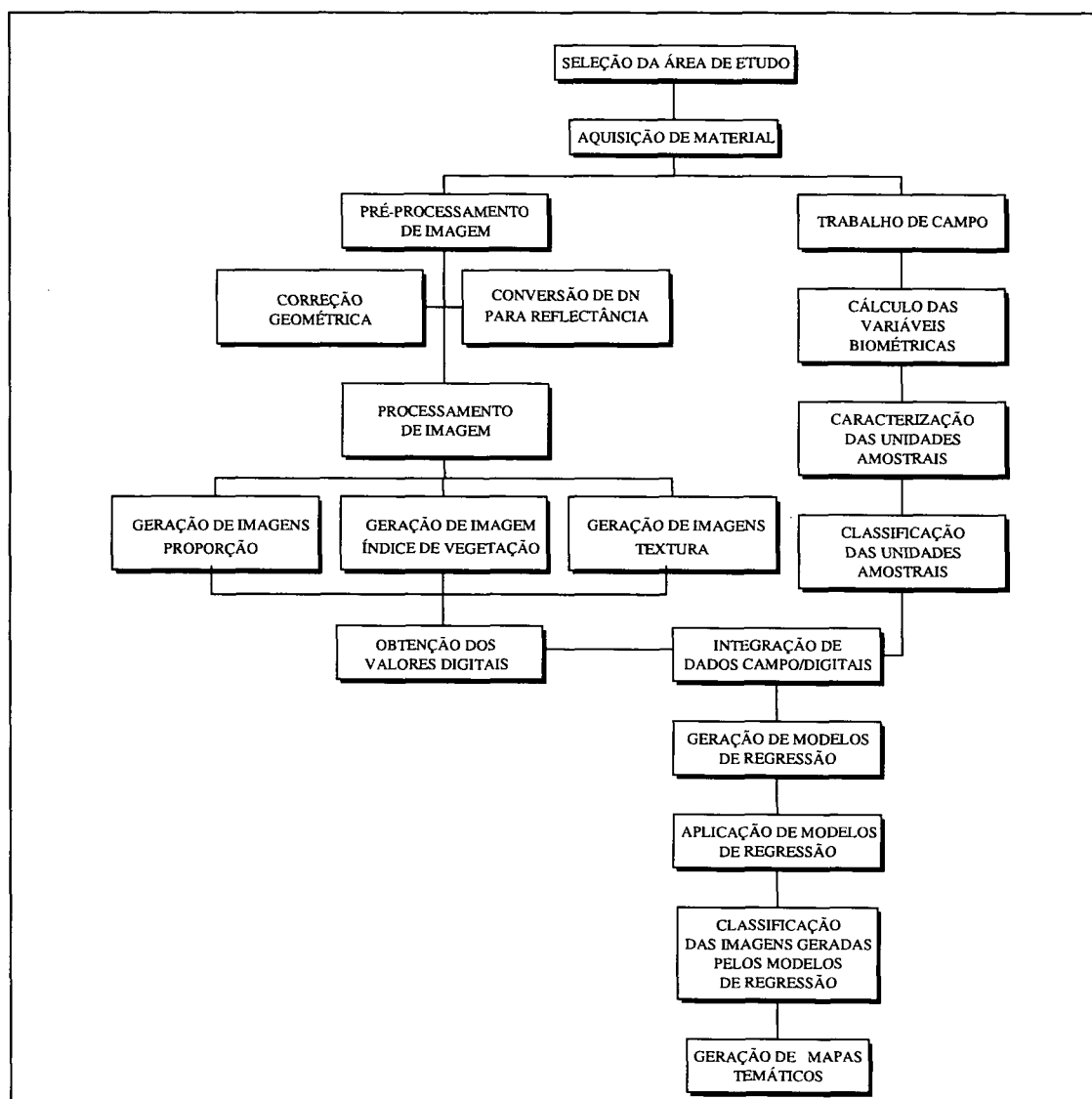
### 4.2.3 Equipamento Complementar

Para auxiliar no deslocamento em campo, bem como na alocação adequada dos pontos na imagem georreferenciada, foi utilizado o *Global Positioning System* (GPS), modelo Garmin II Plus, instrumento que fornece a localização por coordenadas geográficas.

## 4.3 METODOLOGIA

A metodologia empregada no estudo está apresentada na forma de fluxograma na FIGURA 2, sendo detalhada a seguir.

FIGURA 2 – FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA ADOTADA





#### 4.3.1 Trabalho de Campo

As atividades desenvolvidas no campo foram divididas em duas etapas sequenciais, a de reconhecimento da paisagem e aquisição de pontos de controle, e a de levantamento florístico-estrutural de uma área de floresta primária.

##### 4.3.1.1 Reconhecimento da Paisagem e Aquisição de Pontos de Controle

Realizou-se incursões objetivando correlacionar as feições espectrais presentes na imagem TM realçada (composição colorida 3B/4G/5R) com padrões de cobertura vegetal e uso da terra observados em campo. Foram definidos 57 pontos de verificação no campo, onde procedeu-se uma breve caracterização de cada ponto, bem como a coleta, através de GPS, de sua posição geográfica.

Visando o georreferenciamento da imagem, coletou-se 22 pontos de controle, onde procurou-se identificar pontos de fácil identificação na imagem, tendo-se a preocupação de coletar pontos que cobrissem toda a imagem e principalmente próximos à Fazenda Juriti, onde efetuou-se o levantamento florístico-estrutural da floresta.

##### 4.3.1.2 Levantamento Florístico-Estrutural da Floresta Primária

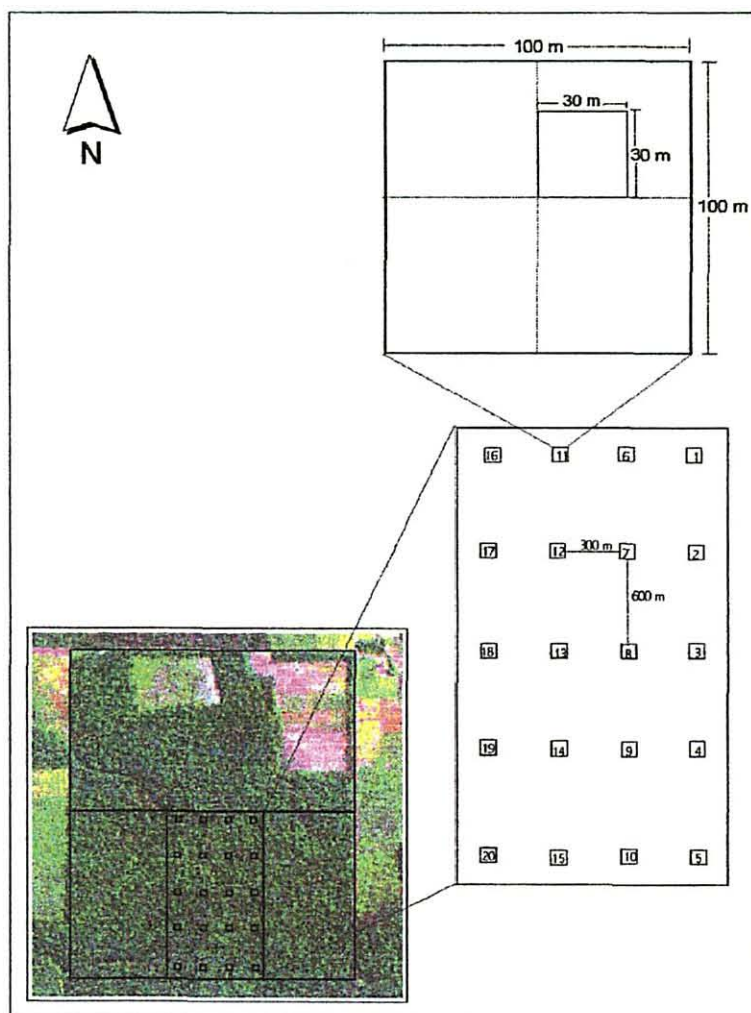
Esta etapa foi realizada em uma área de 500 ha de ocorrência de Floresta Ombrófila Densa, através da locação sistemática de 20 parcelas, orientadas no sentido norte-sul. Em cada unidade amostral de 100 x 100 m foram levantados todos os indivíduos com  $DAP \geq 40$  cm, sendo que para os indivíduos com  $10\text{cm} \leq DAP < 40$  cm empregou-se subparcelas de 30 x 30 m. A FIGURA 3 mostra a localização das unidades de amostra na área, bem como o esquema de amostragem.

Para todos os indivíduos levantados foi feita a identificação pelo nome vulgar e o registro do diâmetro à altura do peito (DAP), altura total (H) e posição

sociológica. Para identificação da posição sociológica de cada indivíduo, considerou-se três classes: 1- árvore de dossel, localizada em ambiente eufótico; 2- árvore situada imediatamente abaixo do dossel; 3- árvore de sub-bosque, localizada em ambiente oligofótico.

Foi coletado material botânico e preparo das exsicatas de todas as espécies, as quais foram enviadas ao herbário da Faculdade de Ciências Agrárias do Pará para identificação botânica. Para todas as unidades amostrais foi obtido o posicionamento geográfico com GPS para alocação adequada dos pontos na imagem georreferenciada.

FIGURA 3 - LOCALIZAÇÃO DAS UNIDADES AMOSTRAIS E ESQUEMA DE AMOSTRAGEM



#### 4.3.2 Relação Espécie - Área

A fim de observar se a composição florística da área em estudo foi devidamente representada pela amostragem, construiu-se a curva espécie-área plotando-se o número acumulado de espécies novas com a área acumulada, levando-se em conta a tendência de estabilização da curva como indicadora da suficiência amostral (JARDIM e HOSOKAWA, 1986).

#### 4.3.3 Cálculo das Variáveis Biométricas da Floresta

As variáveis biométricas estudadas nesta pesquisa foram densidade, área basal, biomassa, volume e diversidade de espécies. Os cálculos foram feitos considerando todos os indivíduos levantados nas unidades de amostra, bem como uma separação por estrato florestal. A estratificação foi feita em função da posição sociológica, onde considerou-se como estrato superior da floresta o conjunto de indivíduos situados na posição sociológica 1, estrato intermediário o conjunto de indivíduos identificados na posição sociológica 2 e, estrato inferior o grupo de indivíduos identificados na posição sociológica 3.

A densidade foi definida como o número de árvores por unidade de área (1 ha). A área basal foi computada como sendo a somatória das áreas transversais de todas as árvores expressa em  $m^2/ha$ .

A biomassa da vegetação, definida como sendo o peso seco de material vivo por unidade de área, é estimada basicamente de duas formas: direta e indiretamente. O método direto consiste no corte do material vegetal dentro da unidade amostral, secagem do material verde, pesagem e extrapolação da avaliação amostrada para a área total de interesse (MATTEUCCI e COLMA, 1982; SANTOS, 1988), tendo a desvantagem de ser um método destrutivo. A estimativa de biomassa aérea através do método indireto consiste em correlacioná-la com alguma variável de fácil medição e que não requeira a destruição do material vegetal. De acordo com BROWN et al.

(1989), a massa é estimada utilizando-se de equações matemáticas que descrevem a relação entre peso seco e outras variáveis independentes da árvore, como DAP e altura total.

A equação alométrica proposta por BROWN et al. (1989) é a mais comumente utilizada para a estimativa de biomassa em floresta tropical primária (SANTOS et. al, 1998; ARAÚJO, 1999), sendo função do DAP e da altura total do indivíduo.

Neste estudo a estimativa de biomassa foi realizada pelo método indireto, com aplicação da seguinte equação proposta por BROWN et al. (1989) para floresta primária:

$$Y = 0,44.(DAP^2.H)^{0,9719}$$

onde,

Y = biomassa aérea do peso seco (kg/árvore);  
DAP = diâmetro do caule a 1,3 m de altura do solo (cm);  
H = altura total do indivíduo (m).

O volume total de cada indivíduo, expresso em m<sup>3</sup>, foi obtido pelo produto de sua área transversal e sua altura total e o fator de forma médio para árvores de floresta tropical primária (0,7).

A medida de diversidade de um sistema biológico tem um papel fundamental na ecologia e na biologia da conservação e pode ser uma das características de interesse sempre que se pretende analisar uma ou mais amostras de espécies de algumas populações (KVALSETH, 1991). A mais simples medida de diversidade é a riqueza de espécies ou número de espécies presentes em uma comunidade (PIELOU, 1975; WHITTAKER, 1975; KVALSETH, 1991). Todavia, essa medida é geralmente um sub-estimador (BROWER e ZAR, 1977; LANDE 1996). Tendo em vista que a diversidade está diretamente relacionada com a estrutura da comunidade, BROWER e ZAR (1977) levam em consideração as relações espécies-abundância. Eles referem-se do maior ou menor grau de diversidade de espécies em uma comunidade em função da riqueza e da abundância das espécies na comunidade. Deste modo, uma comunidade é

dita ter uma alta diversidade se as espécies presentes forem muito ou pouco abundantes. Por outro lado, se uma comunidade é composta por poucas espécies ou se somente umas poucas espécies são abundantes, então a diversidade de espécies é baixa.

Neste contexto, para a análise de diversidade florística de cada unidade amostral, levou-se em consideração a abundância relativa das espécies, ou equitabilidade, além do número de espécies ou riqueza. Para tanto utilizou-se o Índice de Diversidade de Simpson (D), calculado por:

$D = 1 - C$  , onde: C é a medida de Dominância de Simpson calculada pela expressão:

$$C = \sum_{i=1}^S [n_i(n_i - 1)] / [N(N - 1)]$$
, onde:  $n_i$  é o número de indivíduos da  $i$ -ésima espécie, S o número total de espécies e N o número total de indivíduos. Os valores de C variam no intervalo de (0 - 1), sendo que o mais alto valor corresponde a mais baixa diversidade. Por essa razão o Índice D, o qual varia no mesmo intervalo, aumenta com o aumento da diversidade. D assume valor 0 quando todos os indivíduos pertencem a uma única espécie e, 1 quando cada espécie é representada pelo mesmo número de indivíduos. D é então a expressão da probabilidade de tomados dois indivíduos aleatoriamente na amostra, eles pertençam a espécies diferentes.

#### 4.3.4 Classificação das Unidades Amostras

Procurou-se detectar variabilidades entre as unidades de amostra em relação as variáveis densidade, área basal, biomassa, volume e diversidade de espécies através de procedimentos formais de classificação, os quais proporcionam um maior grau de objetividade pela determinação de classes dentro das quais existem um alto grau de associação entre os membros da mesma classe e baixo entre membros de classes diferentes.

Com o objetivo de agrupar as unidades de amostra em relação a cada

variável biométrica estudada efetuou-se a análise de agrupamento. A classificação foi realizada através do método de agrupamentos não-hierárquico K-médias, que são delineados para agrupar quadras (não são adequados para variáveis), numa única classificação de K-grupos, onde K é especificado a priori (SNEATH e SOKAL, 1973; ORLÓCI, 1978).

A definição do número de agrupamentos a ser formado é, segundo SOUZA (1989), uma função do pesquisador, com o número de agrupamentos formado variando de acordo com a necessidade de se estabelecer um maior ou menor refinamento no nível de homogeneidade. O autor propõe que em estudos de manejo florestal os agrupamentos estejam em função de fatores econômicos e operacionais e que devam refletir unidades com boa homogeneidade mas não excessivamente pequenas.

Foi feita a transformação das variáveis originais, uma vez que estão em escalas diferentes, passo fortemente recomendado antes de se aplicar o cálculo dos coeficientes de similaridade (distância) e a aplicação do algoritmo de agrupamento (MANLY, 1986; BASSAB et al., 1990; VAN TONGEREN, 1995). A transformação usada foi a estandardização.

Como medida de similaridade entre as unidades amostrais, usou-se a Distância Euclidiana, onde a distância entre duas unidades é dada por:

$$\text{Distância } (X, Y) = \sqrt{\sum (x - y)^2}$$

onde,

$x$  = coordenada do ponto X;

$y$  = coordenada do ponto Y.

#### 4.3.5 Pré-Processamento de Imagens

##### 4.3.5.1 Georreferenciamento

O georreferenciamento foi realizado com o registro imagem-mapa. A maioria dos pontos de controle foi adquirido por GPS, porém visando a distribuição de

pontos em toda imagem, houve necessidade de aquisição de pontos, de difícil acesso em campo, através de carta topográfica. Através dos 26 pontos de controle utilizados foi gerado um erro menor que um pixel ( $RMS=0,6$ ).

O polinômio de transformação implementado foi o de 1º grau e a reamostragem dos pixels na imagem foi realizada pelo método do vizinho mais próximo, visando manter as características radiométricas da imagem original, devido a menor alteração dos níveis de cinza.

#### 4.3.5.2 Conversão dos Números Digitais (DN) para Reflectância

De acordo com CHUVIECO (1990), para o estudo do conteúdo de umidade na vegetação ou de sua biomassa, é preciso estabelecer uma relação quantitativa entre os números digitais da imagem e parâmetros físicos desse alvo.

A conversão dos DN para reflectância aparente minimiza a variabilidade provocada por diferentes condições de iluminação no comportamento espectral dos alvos (BENTZ, 1990). A análise dos parâmetros físicos, através da conversão de número digital para valores de reflectância, permite medições mais absolutas do alvo, além de permitir realizar, com maior rigor, a razão entre bandas, a definição espectral de classes temáticas e a relação entre imagens de diferentes datas e sensores (ROBINOVE, 1982).

EPIPHANIO e FORMAGGIO (1988) compararam diferentes metodologias para essa conversão, concluindo ser a proposta de MARKHAM e BARKER (1986) mais adequada. Assim sendo, a conversão foi realizada em duas fases, sendo inicialmente o valor de DN transformado em radiância e depois em reflectância (MARKHAM e BARKER, 1986). A transformação dos números digitais para valores de radiância compensa as diferenças entre ganhos e “off-set” de cada banda espectral. Já a conversão desses valores de radiância em valores de reflectância compensa as diferenças quanto à irradiância solar no topo da atmosfera e o ângulo de incidência da

radiação sobre o alvo, no momento da aquisição da imagem. Desta forma, a transformação para dados de reflectância aparente é mais eficiente para reduzir a variabilidade da resposta espectral (NELSON, 1985).

- Transformação dos valores de DN em valores de radiância:

$$L\lambda = L_{\min}\lambda + (L_{\max}\lambda - L_{\min}\lambda) \cdot Q_{\text{Cal}} / Q_{\text{Calmax}}$$

onde,

$L\lambda$  = radiância espectral, em  $\text{mw.cm}^{-2}.\text{sr}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ ;

$Q_{\text{cal}}$  = radiância calibrada e reescalada para o intervalo 0 a 255, em unidades de número digital;

$L_{\min}\lambda$  = radiância espectral correspondente ao  $Q_{\text{cal}} = 0$ , em  $\text{mw.cm}^{-2}.\text{sr}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ ;

$L_{\max}\lambda$  = radiância espectral correspondente ao  $Q_{\text{cal}} = 255$ , em  $\text{mw.cm}^{-2}.\text{sr}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ ;

$Q_{\text{Calmax}}$  = valor máximo de radiância, reescalada para número digital.

Os valores de  $L_{\max}$  e  $L_{\min}$  utilizados na conversão dos valores de DN para radiância encontram-se na TABELA 1.

TABELA 1 - VALORES DE  $L_{\max}$  E  $L_{\min}$  ( $\text{mw} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ ) UTILIZADOS NA CONVERSÃO PARA RADIÂNCIA

BANDA TM	$L_{\max}\lambda$	$L_{\min}\lambda$
3	20,43	-0,12
4	20,62	-0,15
5	2,719	-0,037

FONTE: MARKHAM E BARKER (1986).

- Transformação dos valores de radiância a valores de reflectância

$$\rho = (\pi \cdot L\lambda \cdot d^2) / (E_{\text{sol}}\lambda \cdot \cos \theta_s)$$

onde,

$\rho$  = reflectância medida ao nível do satélite, adimensional;

$L\lambda$  = radiância espectral no detetor, em  $\text{mw.cm}^{-2}.\text{sr}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ ;

$d$  = distância Terra-Sol, em unidades astronômicas;

$E_{\text{sol}}\lambda$  = irradiância solar exoatmosférica média, em  $\text{mw.cm}^{-2}.\text{mm}^{-1}$ ;

$\theta_s$  = ângulo zenital solar, em graus.

Os valores de irradiância utilizados na conversão dos valores de DN para reflectância encontram-se na TABELA 2.



TABELA 2 - VALORES DE IRRADIÂNCIA ( $\text{mw} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ ) UTILIZADOS NA CONVERSÃO PARA REFLECTÂNCIA

BANDA TM	ESol $\lambda$
3	155,7
4	104,7
5	21,93

FONTE: MARKHAM E BARKER (1986).

#### 4.3.6 Processamento de Imagens

##### 4.3.6.1 Geração de Imagens Proporção

É muito difícil modelar as propriedades de um dossel, visto que a resposta deste é sensível não só à variação da vegetação, mas também a do solo, sendo necessários estudos das suas propriedades espectrais para entender sua influência na resposta da vegetação (HUETE, 1989). Uma alternativa para este problema é o modelo de mistura espectral, devido ao seu caráter de decomposição do pixel nas respostas dos seus componentes.

Com base na literatura direcionada à análise de áreas florestadas, foram considerados para a geração das imagens proporção os componentes solo, vegetação e sombra, através do modelo linear de mistura espectral, utilizando-se as bandas 3, 4 e 5. Nos trabalhos envolvendo estudos de vegetação, é possível notar que a imagem-sombra é especialmente considerada, pelo fato da sombra ser um componente constante nas cenas naturais, constituindo um importante componente a ser separado e analisado (SHIMABUKURO e SMITH, 1995).

A seleção do pixel puro de cada componente foi realizada na imagem com base no conhecimento de campo e análise da resposta espectral destes nas bandas analisadas. A resolução do sistema de equações do modelo de mistura foi feita pelo algoritmo de componentes principais.

Após a obtenção das proporções foi feita a verificação da adequação da

modelagem, através da análise dos valores de proporção e do resíduo espectral.

#### 4.3.6.2 Geração de Imagem Índice de Vegetação

A fim de promover a melhor caracterização da classe de interesse, foi empregado o índice de vegetação SAVI, proposto por HUETE (1988) que objetiva reduzir as influências do solo sob dosséis parcialmente cobertos, sendo expresso pela relação:

$$SAVI = \left( \frac{IVP - VM}{IVP + VM + L} \right) (1 + L)$$

onde,

IVP = reflectância na banda referente ao infravermelho próximo;

VM = reflectância na banda referente ao vermelho;

L = fator de cobertura do solo.

De acordo com HUETE (1988), o valor  $L=0,25$  é utilizado para vegetações densas e  $L=1$  para vegetações abertas. Desta forma empregou-se o índice de vegetação SAVI com  $L= 0,25$  , com o objetivo de caracterizar a floresta primária.

#### 4.3.6.3 Geração de Imagens Textura

Para geração de imagens textura utilizou-se a banda do infravermelho próximo, ou seja, a banda 4 do TM, pois pesquisas mostram que esta banda contém mais variabilidade espacial do que as bandas do visível e infravermelho médio, especialmente nas imagens com cobertura de vegetação densa (CHAVES, 1992; CHEN, 1996).

Segundo HARALICK et al. (1973) as características texturais captadas a partir da distribuição dos valores de cinza não constituem em geral características estruturais. Para isto é conveniente que se utilize características que se baseiem na

restituição estatística da dependência dos valores de cinza dos pixels vizinhos. A vizinhança se define mediante uma distância  $d$  e um ângulo  $\alpha$ , denominadas matrizes de co-ocorrência ou dependência, cujas linhas e colunas representam os valores de níveis de cinza  $i$  e seu vizinho  $j$ .

Com a premissa de isotropia da vegetação natural, qualquer direção escolhida para extrair informações texturais deve apresentar o mesmo resultado de análise. Por esta razão, somente a orientação horizontal ( $0^\circ$ ) foi calculada.

A partir das janelas de extração de dados de  $3 \times 3$ , e distância 1, foram derivados quatro parâmetros de textura: média, variância, segundo momento angular e homogeneidade, descritos por HARALICK et al. (1973).

- Média: Estatística de primeira ordem, calcula a Média da Matriz de Co-ocorrência.

$$f = \sum_i \sum_j p(i, j)$$

- Variância: Estatística de primeira ordem, mede a heterogeneidade da Matriz de Co-ocorrência em forma de desvio dos valores  $C$  da matriz.

$$f = \sum_i \sum_j (i - \mu)^2 p(i, j)$$

- Segundo Momento Angular: Estatística de segunda ordem, mede a uniformidade da textura, ou seja, a repetição de pares de pixels iguais.

$$f = \sum_i \sum_j \{ p(i, j) \}^2$$

- Homogeneidade: Estatística de segunda ordem, também denominado Momento da Diferença Inversa. Mede a homogeneidade da Matriz de Co-ocorrência, ou seja, quanto mais forte a concentração da combinação dos pares de pixel em torno da diagonal, mais alto é o valor da Homogeneidade.

$$f = \sum_i \sum_j \frac{1}{1 + (i - j)^2} p(i, j)$$

Onde:

$p(i,j)$  onde  $(i,j)$  corresponde à entrada dos tons de cinza de uma Matriz de dependência Espacial =  $P(i,j)/R$

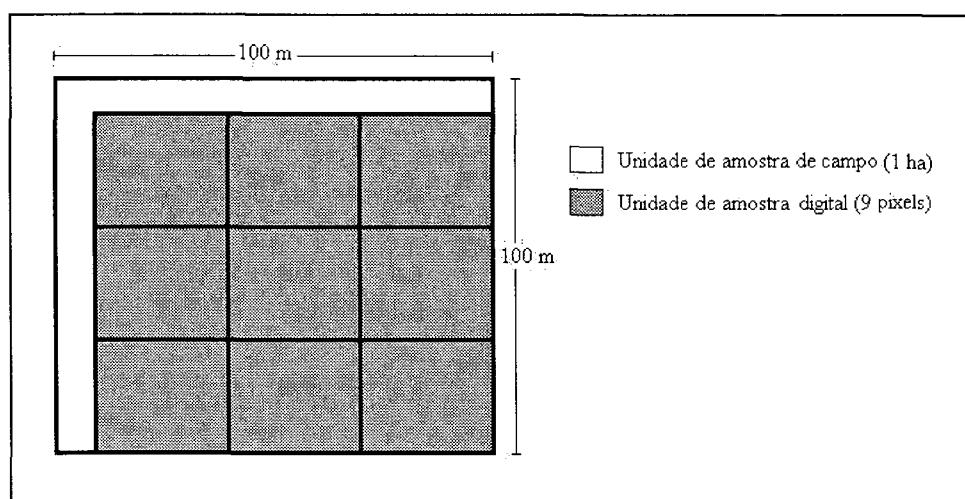
$N_g$  Número de distintos níveis de cinza em uma imagem.

$\sum_i$  e  $\sum_j$  são  $\sum_{i=1}^{N_g}$  e  $\sum_{j=1}^{N_g}$  respectivamente.

#### 4.3.7 Obtenção dos Valores Digitais na Imagem TM e Derivadas

As unidades de amostra de campo foram sobrepostas às imagens de reflectância, imagens SAVI, imagens proporção vegetação, solo e sombra, e nas imagens textura, onde foram extraídos os valores digitais médios dos 9 pixels correspondentes a cada unidade amostral de campo de 100 x 100m (FIGURA 4).

FIGURA 4 - UNIDADE DE AMOSTRA DIGITAL E UNIDADE DE AMOSTRA DE CAMPO.



#### 4.3.8 Integração dos Dados

Visando avaliar a capacidade de utilização de imagens de satélite para a caracterização quantitativa da floresta primária, procurou-se estabelecer a relação entre os dados de campo e os valores extraídos das imagens, empregando procedimentos estatísticos descritos a seguir.

#### 4.3.9 Procedimento Estatístico

Inicialmente procedeu-se uma análise de correlação entre as variáveis biométricas e digitais a fim de determinar o grau de dependência linear entre elas, empregando-se função linear e exponencial, definidas por:

$$y_i = \alpha + \beta x_i + \varepsilon_i \dots\dots\dots \text{linear}$$

$$y_i = \alpha \cdot e^{\beta x_i} \cdot \varepsilon_i \dots\dots\dots \text{exponencial, que linearizando tem-se:}$$

$$\ln y_i = \ln \alpha + \beta x_i + \ln \varepsilon_i$$

Nestes modelos tem-se que:

$y_i$  = variável dependente referente aos valores de densidade, área basal, biomassa, volume e diversidade na i-énésima observação;

$x_i$  = variável independente na i-énésima observação referente aos valores de reflectância, índice de vegetação, proporção e textura.

$\alpha, \beta$  = coeficientes de regressão;

$\varepsilon_i$  = erro aleatório com média zero e variância constante.

As variáveis digitais empregadas na análise foram: reflectância da banda 3 (REF3), reflectância da banda 4 (REF4), reflectância da banda 5 (REF5), imagem índice de vegetação (SAVI), proporção solo (SOL), proporção vegetação (VEG), proporção sombra (SOM), parâmetro de textura média (MED), parâmetro de textura variância (VAR), parâmetro de textura homogeneidade (HOM) e parâmetro de textura segundo momento angular (SMA). As variáveis biométricas analisadas através da função linear foram: densidade (DEN), área basal (AB), biomassa (BIO), volume (VOL) e diversidade (DIV). Enquanto que para a função exponencial as variáveis biométricas foram logaritmizadas.

Os dados de campo foram relacionados às imagens através de modelo de regressão, função estatística que utiliza a relação entre duas ou mais variáveis quantitativas para que se possa fazer a previsão de uma variável com base em outra(s) (NETER e WASSERMAN, 1974). Na análise de regressão uma variável aleatória  $y$ , denominada dependente, é relacionada à outra variável  $x$ , independente. No caso, as variáveis, densidade, área basal, biomassa, volume e diversidade foram consideradas variáveis dependentes e os valores digitais extraídos das imagens reflectância, índice de vegetação, proporção e textura, correspondentes às unidades amostrais,

considerados variáveis independentes.

Visando avaliar a utilização conjunta dos dados oriundos de todas as imagens geradas efetuou-se análises de regressão múltipla. Na determinação da variável ou variáveis que melhor explicassem a variação em  $y$ , foi empregado o método de regressão *Stepwise* e posteriormente procedeu-se a análise de resíduos. Os resíduos são definidos como a diferença entre os valores observados ( $y$ ) e os valores estimados ( $\hat{y}$ ) pela regressão, isso traduz a quantidade que a equação de regressão não foi capaz de explicar. Sendo portanto uma maneira simples e efetiva de detectar deficiências no modelo empregado na análise de regressão (CHATERJEE e PRICE, 1977).

As análises foram feitas para o conjunto de dados de campo, bem como separadamente para cada estrato florestal, utilizando-se o pacote estatístico STATISTICA (STATSOFT, 2001).

#### 4.3.10 Classificação Digital

A classificação de imagens digitais consiste em identificar nas mesmas, os diferentes alvos, fenômenos ou feições que apresentam padrões espectrais similares e atribuí-los a uma determinada classe. Assim sendo, os modelos ajustados foram aplicados e as imagens sintéticas resultantes foram classificadas através de fatiamento, onde as classes foram definidas pelos intervalos de valores relacionados às características dos grupos gerados na análise de agrupamento dos dados estimados.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente serão relatados os resultados do trabalho de campo, onde procurou-se primeiramente caracterizar a floresta primária objeto deste estudo, permitindo uma definição clara dos parâmetros biométricos, o que é necessário quando se pretende relacionar informações de campo e orbital. A seguir, serão apresentados os resultados alcançados com as técnicas de processamento de imagens aplicadas à imagem TM/Landsat (Modelo Linear de Mistura Espectral, índice de vegetação, e textura). Finalmente, serão apresentados os resultados obtidos com a integração dos dados a partir da análise estatística da relação existente entre os dados de campo e os valores oriundos das diferentes imagens.

### 5.1 RELAÇÃO ESPÉCIE - ÁREA

Na relação espécie-área construída para indivíduos com  $DAP \geq 40$  cm, detectou-se a ocorrência de 82 espécies na amostragem de 20 ha (20 parcelas de 1 ha) e 47 espécies na amostra de 1,8 ha (20 sub-parcelas de 0,09 ha) para indivíduos com  $10 \leq DAP < 40$  cm (TABELA 3).

TABELA 3 - NÚMERO ACUMULADO DE ESPÉCIES NOVAS EM RELAÇÃO À ÁREA AMOSTRADA EM UMA FLORESTA PRIMÁRIA, MOJU, PARÁ.

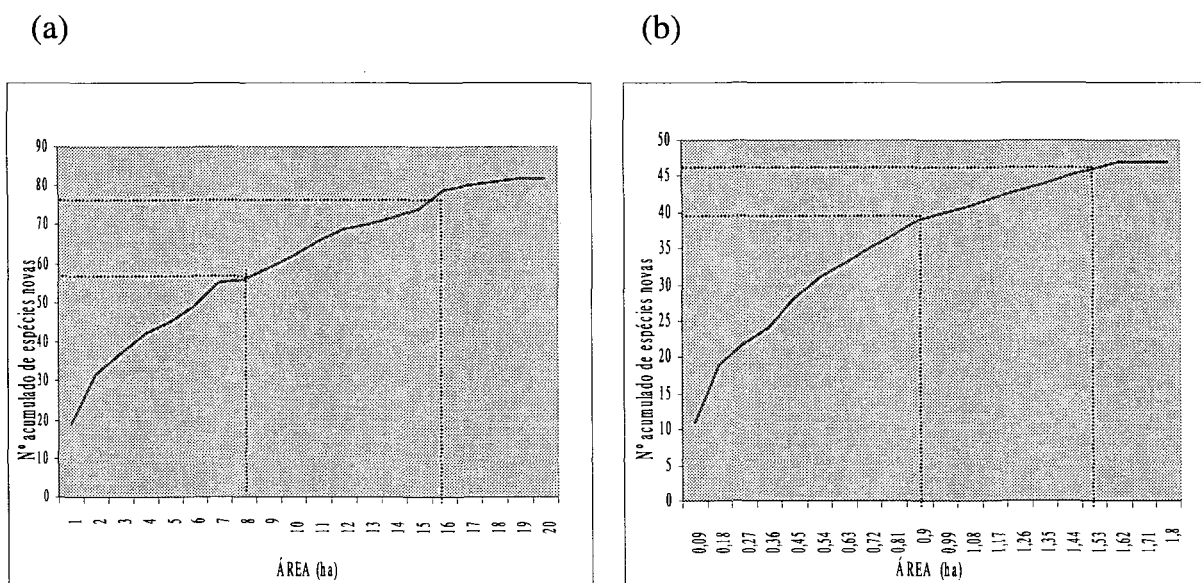
DAP $\geq 40$ cm		10 $\leq$ DAP $< 40$ cm	
Área Amostrada (ha)	Nº Acumulado de Espécies Novas	Área Amostrada (ha)	Nº Acumulado de Espécies Novas
1	19	0,09	11
2	32	0,18	19
3	37	0,27	22
4	42	0,36	24
5	45	0,45	28
6	49	0,54	31
7	55	0,63	33
8	56	0,72	35
9	59	0,81	37
10	62	0,90	39
11	66	0,99	40
12	69	1,08	41
13	70	1,17	42
14	72	1,26	43
15	74	1,35	44
16	79	1,44	45
17	80	1,53	46
18	81	1,62	47
19	82	1,71	47
20	82	1,80	47

A curva espécie-área (FIGURA 5a) apresentou-se bastante íngreme. Observa-se que o aumento do número de novas espécies foi alto até os primeiros 8 ha, onde 56 espécies podem ser esperadas, correspondendo a 68% das espécies levantadas. Entre os 8 a 16 ha denota-se uma variação menos acentuada na curva, podendo-se esperar 79 espécies, o que representa 96% das espécies levantadas. A partir dos 16 ha a curva tende a estabilizar-se.

Observa-se que nas sub-parcelas (indivíduos com  $10 \leq \text{DAP} < 40$  cm) até 0,9 ha o aumento do número de novas espécies foi alto, encontrando-se 39 espécies, correspondendo a 83% das espécies levantadas. No intervalo de 0,9 a 1,53 ha verifica-se uma variação pouco acentuada na curva, podendo-se esperar 46 espécies, representando 98% das espécies levantadas. A partir dos 1,62 ha a curva estabiliza-se (FIGURA 5b).

Assim, considerou-se que a área amostrada foi suficiente para cobrir a variação florística da área estudada.

FIGURA 5 - CURVA ESPÉCIE-ÁREA: (a) - PARA INDIVÍDUOS COM  $\text{DAP} \geq 40$  cm; (b) - PARA INDIVÍDUOS COM  $10 \leq \text{DAP} < 40$  cm





## 5.2 COMPOSIÇÃO FLORÍSTICA

Na análise da composição florística da área estudada, representativa de floresta de terra firme, dos 1.207 indivíduos levantados, registrou-se a ocorrência de 92 espécies, distribuídas em 69 gêneros e 34 famílias. Observa-se que uma espécie foi identificada somente até o nível de família e 16 até o nível genérico. A família com maior riqueza de espécies foi Sapotaceae com 8 espécies, seguida de Fabaceae e Mimosaceae com 7 espécies cada uma. No ANEXO 1 é apresentada a lista de espécies com nomes vulgares e famílias.

Esses dados de composição florística apresentam-se próximos a uma série de levantamentos realizados na Amazônia, porém distantes de muitos outros. MACIEL e LISBOA (1989) em Rondônia, amostraram árvores com  $DAP \geq 10$  cm em 1 ha e encontraram 90 espécies e 33 famílias. MORELLATO e ROSA (1991) com metodologia de amostragem por parcelas ao longo de transectos na Serra dos Carajás encontraram 100 espécies com  $DAP \geq 5$  cm. UHL e MURPHY (1981) estudando a composição e estrutura de uma floresta de terra firme na Venezuela encontraram 83 espécies com  $DAP \geq 10$  cm. QUEIROZ (1992) amostrando indivíduos com  $DAP \geq 10$  cm encontrou 270 espécies na FLONA do Tapajós. SILVA et al. (1992) amostraram 556 espécies para  $DAP \geq 10$  cm em quatro transectos de 1 ha cada na bacia do rio Juruá.

PÄRTEL et al. (1996) afirmam que até recentemente a coexistência de espécies e a diversidade tinham sido ligadas fortemente à competição e que uma alternativa recente na explicação da diversidade é a hipótese do *pool* de espécies. TAYLOR et al. (1990) propuseram a hipótese do *pool* de espécies para explicar a diversidade local em referência ao tamanho do *pool* global ou regional de espécies: o número de espécies que ocupa uma certa região, pode ser determinado pela comunalidade daquele habitat particular, e quanto maior a área que aquele tipo de habitat ocupa, maior a oportunidade para especiação e conseqüentemente maior o

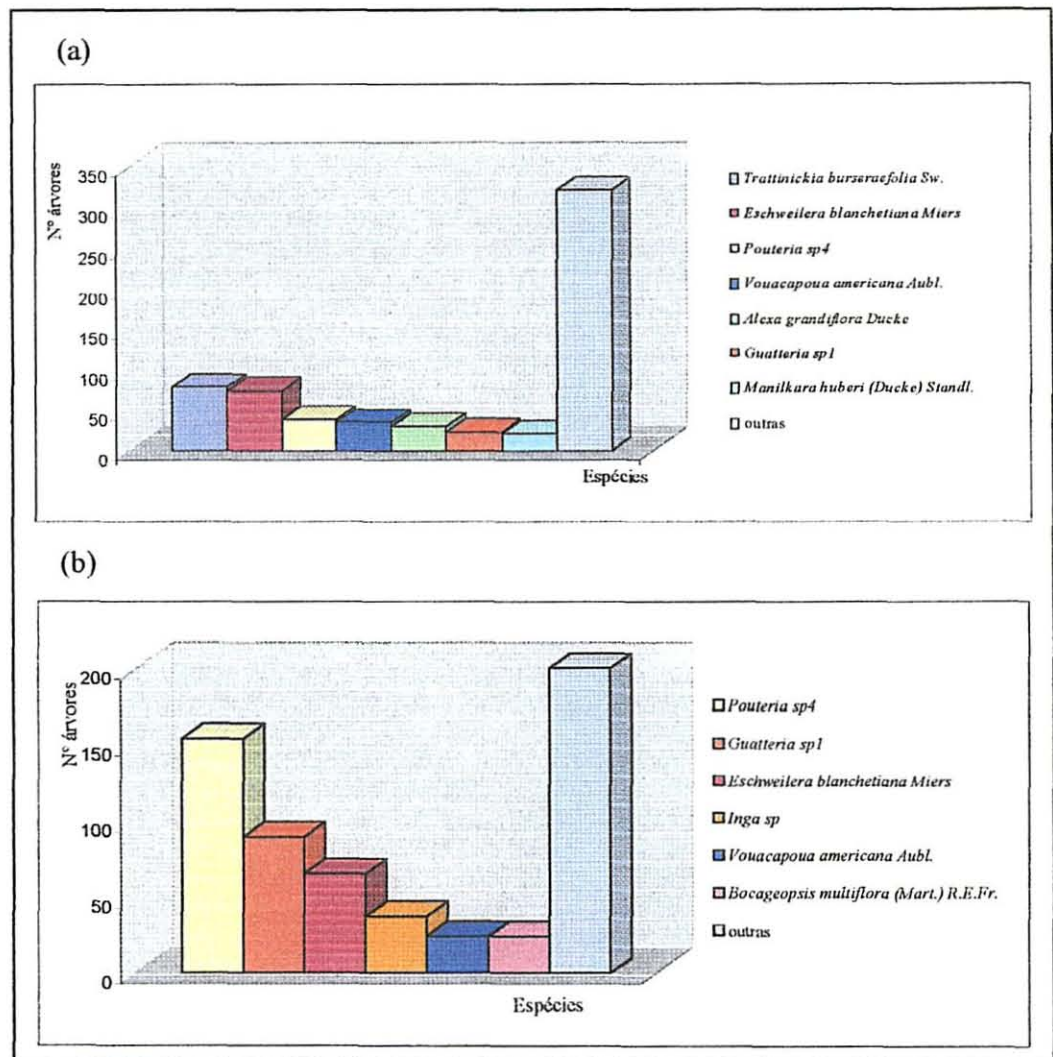
número de espécies adaptadas disponíveis para aquele habitat (TAYLOR et al, 1990).

Para PÄRTEL et al. (1996), essa definição salienta que o *pool* não é simplesmente a soma de espécies de uma certa região com condições ambientais variadas, mas é o limitado grupo de espécies capazes de crescimento sob certas condições ambientais prevalecentes dentro do território. Eles sustentam que existiria um certo grau hierárquico para as espécies, o qual seria função da similaridade entre condições ecológicas sob as quais a espécie ocorre e da média das condições ecológicas para uma comunidade específica.

No processo de amostragem de indivíduos com  $DAP \geq 40\text{cm}$ , registrou-se 614 indivíduos, distribuídos em 82 espécies, podendo-se verificar que 48% dos indivíduos estão distribuídos em apenas 7 espécies, onde as espécies mais abundantes foram: *Trattinickia burseraefolia* Sw. (barrote) com 78 indivíduos, *Eschweilera blanchetiana* Miers (matá-matá-preto) com 73 indivíduos, *Pouteria* sp4 (guajará-duro) com 38, *Vouacapoua americana* Aubl. (acapu) com 34, *Alexa grandiflora* Ducke (melancieira) com 29, *Guatteria* sp1 (envira-caçador) com 22 e *Manilkara huberi* (Ducke) Standl (maçaranduba) com 20 indivíduos (FIGURA 6 a).

Dentro das sub-parcelas (árvores com  $10\text{cm} < DAP < 40\text{cm}$ ) registrou-se 593 indivíduos, distribuídos em 47 espécies, onde as espécies mais abundantes foram *Pouteria* sp4 (guajará-duro) com 154 indivíduos, *Guatteria* sp1 (envira-caçador) com 89 indivíduos, *Eschweilera blanchetiana* Miers (matá-matá-preto) com 65 indivíduos, *Inga* sp (ingazeiro) com 37 indivíduos, *Vouacapoua americana* Aubl. (acapu) e *Bocageopsis multiflora* (Mart.) R.E.Fr. (envira-preta) com 24 indivíduos cada uma (FIGURA 6 b). Observa-se que 66% dos indivíduos estão distribuídos em apenas 6 espécies.

FIGURA 6 - ESPÉCIES MAIS ABUNDANTES (a) - INDIVÍDUOS COM DAP  $\geq 40$  cm; (b) - INDIVÍDUOS COM  $10 < \text{DAP} < 40$  cm



### 5.3 CARACTERIZAÇÃO E AGRUPAMENTO DAS UNIDADES AMOSTRAIS

Devido a grande heterogeneidade ambiental presente nas florestas tropicais, as unidades amostrais estabelecidas para estudos vegetacionais podem cobrir áreas com diferentes comunidades ou micro-ambientes, não permitindo o conhecimento e caracterização do mosaico florístico-estrutural ocorrente na área de investigação determinada. A fim de solucionar tal problema, aplicou-se a análise de agrupamento

procurando-se obter a caracterização de grupos, com mínima variabilidade dentro destes e máxima variabilidade entre os mesmos.

Anteriormente à formação dos grupos procedeu-se a análise dos resultados obtidos para as variáveis densidade, área basal, biomassa, volume e diversidade de espécies nas 20 unidades de amostra considerando indivíduos com  $DAP \geq 10$  cm, os quais encontram-se na TABELA 4. É importante ressaltar que esses resultados foram inicialmente obtidos para os dois níveis de amostragem separadamente ( $DAP \geq 40$  cm e  $10\text{cm} < DAP < 40\text{cm}$ ) e, a partir da obtenção dos valores em hectare, procedeu-se então a estimativa considerando indivíduos com  $DAP \geq 10$  cm conforme está demonstrado no ANEXO 2.

TABELA 4 – VALORES DE DENSIDADE, ÁREA BASAL, BIOMASSA, VOLUME E DIVERSIDADE DE ESPÉCIES PARA AS 20 UNIDADES DE AMOSTRA INVENTARIADAS ( $DAP \geq 10$  CM) EM UMA FLORESTA PRIMÁRIA, MOJU, PARÁ

UNIDADE DE AMOSTRA	DENSIDADE (n <sup>o</sup> ind/ha)	ÁREA BASAL (m <sup>2</sup> /ha)	BIOMASSA (ton/ha)	VOLUME (m <sup>3</sup> /ha)	DIVERSIDADE DE SIMPSON (D)
1	410	26,89	295,27	384,93	0,83
2	363	28,52	338,30	451,00	0,87
3	331	32,45	320,59	421,98	0,88
4	310	24,31	283,24	372,02	0,85
5	454	27,92	284,71	367,73	0,88
6	295	24,97	237,17	313,30	0,89
7	295	20,47	227,84	300,29	0,88
8	402	26,94	270,41	353,14	0,88
9	321	22,39	226,53	294,15	0,88
10	195	14,39	143,02	186,52	0,87
11	377	27,21	301,57	395,73	0,82
12	469	27,87	258,44	337,14	0,92
13	511	27,04	257,25	331,50	0,91
14	219	19,53	229,76	301,91	0,90
15	186	10,48	104,24	135,28	0,87
16	436	31,18	342,38	446,01	0,80
17	376	27,48	299,95	393,06	0,89
18	431	29,77	337,06	438,41	0,89
19	472	25,34	285,08	367,16	0,85
20	350	31,42	317,71	418,24	0,78

Em função da amplitude de valores e desvio padrão observados entre as unidades de amostra para cada variável de interesse definiu-se o número de agrupamentos efetuados neste estudo, ressalta-se porém, o componente de subjetividade inerente à estrutura não categórica (SNEATH e SOKAL, 1973; MANLY, 1986; SOUZA, 1989). Assim, definiu-se três agrupamentos para as variáveis densidade, área basal, biomassa e volume, e apenas dois para diversidade de espécies. A TABELA 5 mostra o resultado da análise de agrupamento das unidades de amostra, melhor evidenciados nas FIGURA 7, 8, 9, 10 e 11.

TABELA 5 - UNIDADES DE AMOSTRA CONSTITUINTES DOS GRUPOS OBTIDOS PELO ALGORITMO DE K-MÉDIAS PARA CINCO VARIÁVEIS ESTANDARDIZADAS EM UMA ÁREA DE FLORESTA PRIMÁRIA, MOJU, PARÁ

VARIÁVEL	UNIDADES DE AMOSTRA		
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Densidade (n° ind/ha)	1;5;8;12;13;16;18;19	2;3;4;6;7;9;11;17;20	10;14;15
Área basal (m <sup>3</sup> /ha)	3;16;18;20	1;2;4;5;6;8;9;11;12;13;17;19	7;10;14;15
Biomassa (ton/ha)	1;2;3;11;16;17;18;20	4;5;6;7;8;9;12;13;14;19	10;15
Volume (m <sup>3</sup> /ha)	1;2;3;11;16;17;18;20	4;5;6;7;8;9;12;13;14;19	10;15
Diversidade de Simpson (D)	2;3;5;6;7;8;9;10;12;13;14;15; 17;18	1;4;11;16;19;20	-

Observa-se que para as variáveis biomassa e volume a formação dos grupos foram iguais, ou seja, os grupos foram formados pelas mesmas unidades de amostra, o que é facilmente explicado, pois ambas variáveis são obtidas em função do DAP e altura total (H).

FIGURA 7 – GRUPOS GERADOS PARA VARIÁVEL DENSIDADE

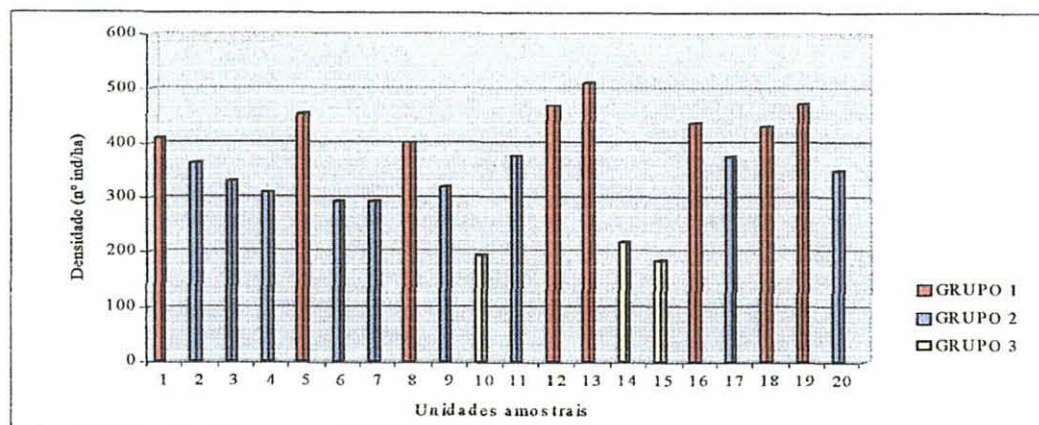


FIGURA 8 – GRUPOS GERADOS PARA VARIÁVEL ÁREA BASAL

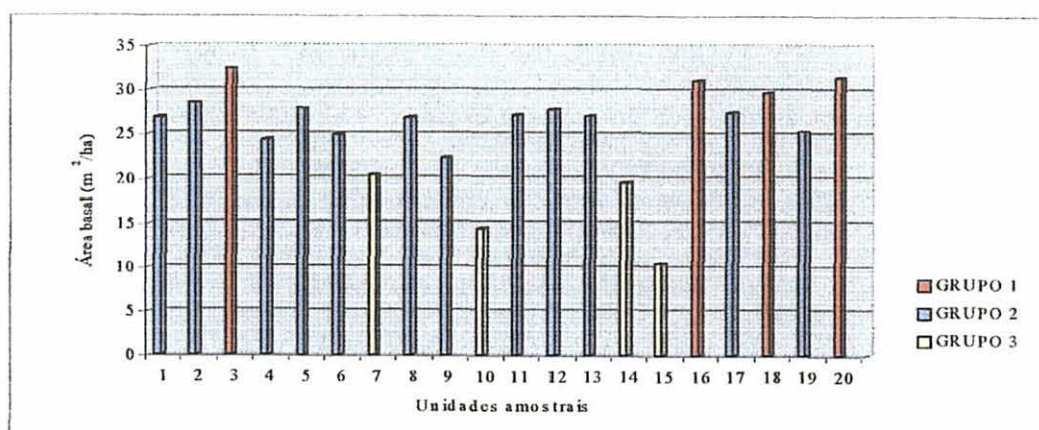


FIGURA 9 - GRUPOS GERADOS PARA VARIÁVEL BIOMASSA

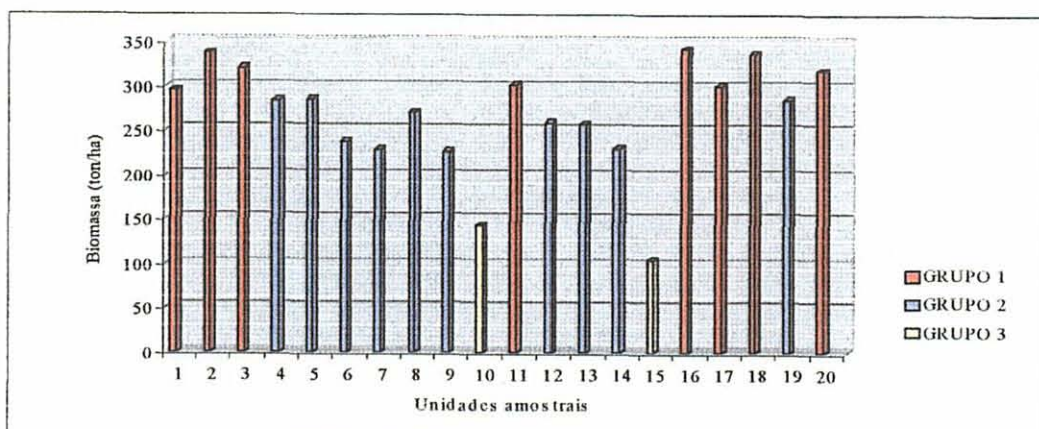




FIGURA 10 - GRUPOS GERADOS PARA VARIÁVEL VOLUME

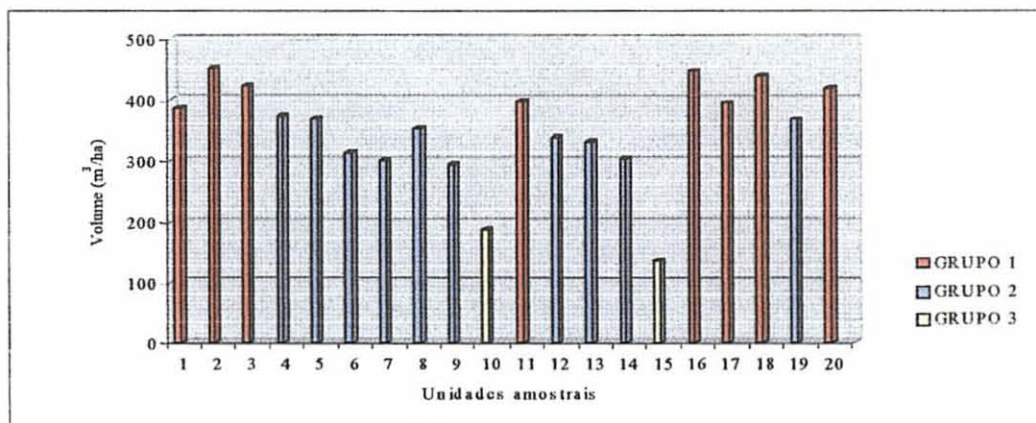
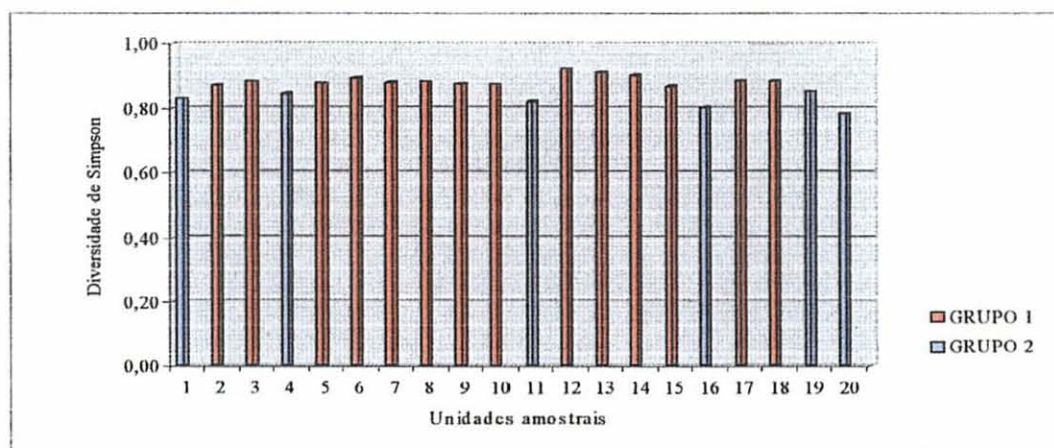


FIGURA 11 - GRUPOS GERADOS PARA VARIÁVEL DIVERSIDADE



Na TABELA 6 estão presentes os valores de média e desvio padrão das variáveis estudadas para cada grupo gerado pela análise de agrupamento. Os resultados permitiram o estabelecimento de importantes aspectos sobre a fitossociologia da área em grupos peculiares, utilizando como atributos de classificação cinco variáveis que, na sua maioria, apresentam natureza contínua, exceto densidade de indivíduos. Os agrupamentos formados refletem uma clara separação das unidades amostrais em relação as variáveis de interesse, ainda que a área de estudo esteja dentro da mesma unidade fitofisionômica proposta por VELOSO et al.(1991) e IBGE (1992).

TABELA 6 - MÉDIA ( $\bar{x}$ ) E DESVIO PADRÃO ( $s$ ) DAS VARIÁVEIS DENSIDADE, ÁREA BASAL, BIOMASSA, VOLUME E DIVERSIDADE DE ESPÉCIES DOS GRUPOS GERADOS PELA ANÁLISE DE AGRUPAMENTO PARA UMA ÁREA DE FLORESTA OMBRÓFILA Densa, MOJU, PARÁ

GRUPOS	ESTATÍSTICA	DENSIDADE (n° ind/ha)	ÁREA BASAL (m <sup>2</sup> /ha)	BIOMASSA (ton/ha)	VOLUME (m <sup>3</sup> /ha)	DIVERSIDADE DE SIMPSON (D)
Grupo 1	$\bar{x}$	199,74	31,21	319,10	418,6	0,89
	$s$	17,18	1,10	18,82	25,39	0,01
Grupo 2	$\bar{x}$	335,35	26,41	256,04	333,8	0,82
	$s$	32,90	1,79	24,34	30,27	0,03
Grupo 3	$\bar{x}$	448,19	16,22	123,63	160,8	-
	$s$	35,97	4,67	27,42	36,23	-

Para a variável densidade, observa-se que a amplitude de valores nas unidades de amostra levantadas está entre 186 a 511 ind/ha (TABELA 4), sendo assim possível diferenciar três grupos, caracterizados por valores médios de 199,74; 335,35 e 448,19 ind/ha (TABELA 6).

A falta de uniformidade nos diversos trabalhos realizados na Amazônia em relação ao DAP mínimo torna difícil comparação de resultados. CARVALHO (1999) encontrou valores variando de 140 a 302 ind/ha para indivíduo com DAP $\geq$ 30cm na Floresta Nacional do Tapajós. MACIEL (1998), analisando indivíduos com DAP $\geq$ 25cm na Floresta Nacional de Caxiuanã-PA, encontrou valores entre 99,71 árv/ha a 168,67 árv/ha. JARDIM e HOSOKAWA (1986/87) identificaram 246,75 árv/ha, analisando indivíduos com DAP  $\geq$  20cm, em uma floresta próxima a Manaus.

Em relação à área basal, observa-se valores entre 10,48 a 32,45 m<sup>2</sup>/ha (TABELA 4), sendo também possível caracterizar três grupos distintos com valores médios de 16,22; 26,41 e 31,21 m<sup>2</sup>/ha (TABELA 6).

MACIEL (1998), analisando indivíduos com DAP  $\geq$  25 cm na Floresta Nacional de Caxiuanã-PA, encontrou valores entre 15,63 e 26,6 m<sup>2</sup>/ha. CARVALHO (1999) encontrou valores variando de 30,99 a 70,33 m<sup>2</sup>/ha, para indivíduo com DAP  $\geq$  30 cm na Floresta Nacional do Tapajós. BARROS (1986) encontrou um valor médio



de 29,8 m<sup>2</sup>/ha, analisando indivíduos com DAP  $\geq$  5cm em uma floresta no Planalto de Curuá-Una-PA. JARDIM e HOSOKAWA (1986/87) encontraram em uma floresta próximo a Manaus um valor de 25,02 m<sup>2</sup>/ha para indivíduos com DAP  $\geq$  20 cm.

Em função de uma amplitude de 104,24 a 342,38 ton/ha de biomassa total na área amostrada (TABELA 4), os três grupos gerados caracterizaram-se por valores médios de 123,63; 256,04 e 319,10 ton/ha (TABELA 6). ZERBINI (1992) quando estimou a fitomassa de uma Floresta Densa de Terra Firme no município de Oriximiná – Pará, encontrou valores entre 480 e 198 ton/ha para indivíduos com DAP  $\geq$  7 cm. BERNARDES (1998), estudando uma floresta primária na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, encontrou um valor médio de 267 ton/ha. SANTOS et al. (1998) levantando indivíduos com DAP  $\geq$  10 cm em uma floresta primária no Estado do Acre encontraram valores de biomassa de 170,25 ton/ha  $\pm$  49,28. XAUD (1998), em uma floresta primária no Estado de Roraima, encontrou média de 195 ton/ha.

A variável volume apresentou valores entre 135,28 e 450,99 m<sup>3</sup>/ha (TABELA 4), sendo também possível caracterizar três grupos distintos. Os grupos formados apresentam valores médios de 160,90; 333,83 e 418,67 m<sup>3</sup>/ha (TABELA 6).

Na Floresta Nacional do Tapajós, CARVALHO (1999) encontrou valores entre 475,62 e 1.164,45 m<sup>3</sup>/ha, para indivíduo com DAP  $\geq$  30cm. Em uma floresta primária em Vitória do Jari, no Estado do Amapá, GOMIDE (1997) encontrou 333,4 m<sup>3</sup>/ha, analisando árvores com DAP  $\geq$  20cm.

Para a variável diversidade de espécies, estabelecida pelo Índice de Simpson, face a pequena amplitude de valores observados (0,78 a 0,92 – TABELA 4) distinguiu-se apenas dois grupos, apresentando valores médios de 0,82 e 0,88 (TABELA 6).

O índice de diversidade de Simpson (D) mostra que na área de estudo a diversidade de espécies é alta, sendo que a probabilidade de amostrar dois indivíduos aleatoriamente pertencentes a espécies diferentes está entre 78 e 92%. Em relação aos grupos formados percebe-se que no segundo grupo estão as unidades de amostra com

os menores valores de diversidades ( $\bar{x} = 0,82$ ), o que pode ser atribuído a um grande número de indivíduos concentrado em poucas espécies e a presença de espécies com um único indivíduo, uma vez que a diversidade depende da riqueza de espécies e da natureza da distribuição dos indivíduos entre as espécies, sendo portanto uma propriedade de qualquer comunidade natural (KVALSETH, 1991; CARVALHO, 1992). Uma comunidade onde cada espécie é igualmente abundante tem alta diversidade; uma comunidade onde a abundância das espécies diferem largamente, ou apresenta poucas espécies, tem baixa diversidade (POOLE, 1974; BRAWER e ZAR, 1977).

BARROS (1986) para a região de Curuá-Una-PA, encontrou índices de diversidade de Simpson de 0,87, enquanto que QUEIROZ e BARROS (1998) para Floresta Nacional de Saracá-Tacuera, Oriximiná – PA, identificaram valores de índice de diversidade de Simpson de 0,98.

MACIEL (1998) encontrou valores de diversidade de Simpson variando entre 0,93 e 0,95. OLIVEIRA (1997), estudando separadamente três hectares de floresta de terra firme ao norte de Manaus, também observou índice de diversidade bem maior que o apresentado neste estudo (0,99).

#### 5.4 CARACTERIZAÇÃO DOS ESTRATOS FLORESTAIS

Como anteriormente mencionado, a diferenciação dos estratos da floresta esteve em função da posição sociológica ocupada pelos indivíduos, enquadrada em três classes: árvore do dossel, imediatamente abaixo do dossel e de sub-bosque, caracterizando os estratos superior, intermediário e inferior, respectivamente.

A TABELA 7 apresenta a estatística descritiva dos três estratos em função das variáveis altura total e diâmetro dos 1.207 indivíduos com  $DAP \geq 10$  cm levantados na amostragem.

TABELA 7 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA DAS VARIÁVEIS ALTURA TOTAL (H) E DIÂMETRO (DAP) NOS ESTRATOS FLORESTAIS DE UMA ÁREA DE FLORESTA PRIMÁRIA, MOJU, PARÁ

ESTATÍSTICAS	ESTRATO SUPERIOR		ESTRATO INTERMEDIÁRIO		ESTRATO INFERIOR	
	H (m)	DAP (cm)	H (m)	DAP (cm)	H (m)	DAP (cm)
Nº de observações	400	400	672	672	135	135
Média	24,16	66,47	16,63	36,89	8,58	16,09
Máximo	50	182,07	19	143,24	10	52,52
Mínimo	20	13,69	9	10,50	3	10,18
Desvio padrão	5,93	27,71	2,36	20,63	1,96	4,43

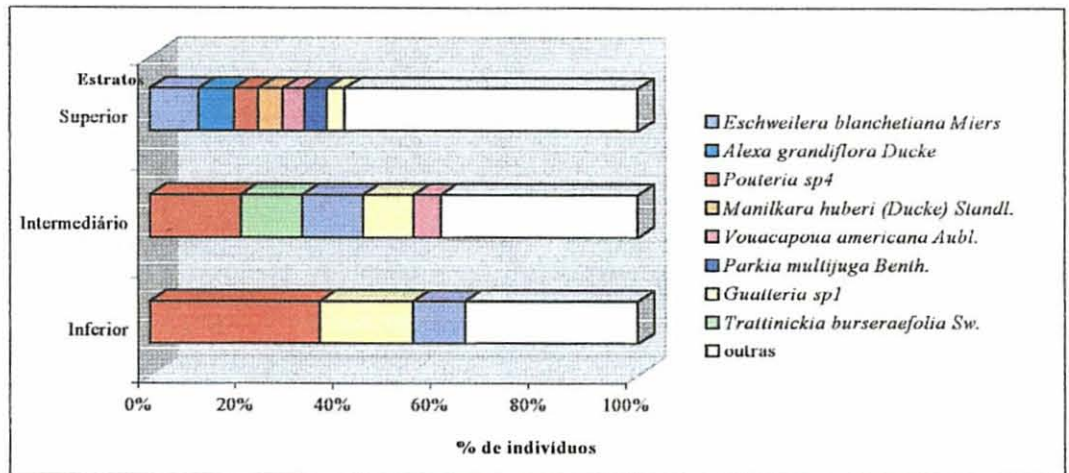
Observa-se que 33,1% dos indivíduos levantados estão presentes no estrato superior da floresta, encontrando-se árvores com altura total que vai de 20 até 50 m. Os valores de DAP apresentam-se dentro de uma grande amplitude de valores, entre 13,69 e 182,07 cm. De modo geral, este estrato caracteriza-se por indivíduos com valores médios de altura total de 24,16 m e DAP de 66,47 cm.

O estrato intermediário está representado por 55,7% dos indivíduos levantados, onde encontram-se árvores com altura total entre 9 e 19 m e DAP entre 10,5 e 143,24 cm. As médias de altura total e DAP dos indivíduos presentes neste estrato foram de 16,63 m e 36,89 cm, respectivamente.

O estrato inferior caracteriza-se por indivíduos com valores médios de altura total de 8,58 m e DAP de 16,09 cm. No entanto, observa-se árvores com altura total de 3 até 10 m e DAP que vai de 10,18 até 52,52 m. Dentre os indivíduos levantados 11,2% ocorreram neste estrato.

Em termos de composição florística, registrou-se a ocorrência de 71 espécies no estrato superior, 63 no intermediário e apenas 17 no estrato inferior, considerando indivíduos com  $DAP \geq 10$  cm. A FIGURA 12 mostra as espécies mais abundantes em cada estrato florestal.

FIGURA 12 – ESPÉCIES MAIS ABUNDANTES EM CADA ESTRATO FLORESTAL



No estrato superior as espécies mais abundantes foram: *Eschweilera blanchetiana* Miers com 40 indivíduos, *Alexa grandiflora* Ducke com 29, *Pouteria* sp4 e *Manilkara huberi* (Ducke) Standl. com 20 indivíduos cada uma, *Vouacapoua americana* Aubl. e *Parkia multijuga* Benth. com 18 cada, e *Guatteria* sp1 com 11 indivíduos. No estrato intermediário as mais abundantes foram: *Pouteria* sp4 com 12 árvores, *Trattinickia burseraefolia* Sw. com 85, *Eschweilera blanchetiana* Miers com 84, *Guatteria* sp1 com 70, e *Vouacapoua americana* Aubl. com 37 indivíduos. No estrato inferior as espécies mais abundantes foram: *Pouteria* sp4 com 47 árvores, *Guatteria* sp1 com 26, e *Eschweilera blanchetiana* Miers com 14 indivíduos.

O estrato inferior além de possuir baixo número de espécies, a maioria dos indivíduos (64%) estão distribuídos apenas em três espécies. Embora no estrato intermediário exista a ocorrência de muitas espécies, verifica-se também que mais da metade dos indivíduos (60%) estão concentrados em cinco espécies apenas. No estrato superior constata-se uma maior distribuição de indivíduos por espécies, onde 40% dos indivíduos estão centrados em sete espécies.

Observa-se que as espécies *Pouteria* sp., *Guatteria* sp. e *Eschweilera blanchetiana* Miers ocorrem com abundância nos três estratos estudados, pois segund

SWAINE e HALL (1983) e FINEGAN (1992), essas espécies são capazes de germinar e se estabelecer pelo menos em luz difusa, persistindo até formar o dossel da floresta madura. SWAINE e HALL (1983) classificam estas espécies como primárias, enquanto que FINEGAN (1992) as classifica como esciófitas.

A presença de indivíduos nos diferentes estratos da floresta depende de seu comportamento reprodutivo e de sua exigência em termos de luz e umidade, principalmente nos estágios iniciais (RICHARDS, 1952; WHITMORE, 1990). Uma espécie bastante abundante no estrato superior pode também ser bem representada no estrato inferior, enquanto outras espécies igualmente abundantes no estrato superior podem ser pouco ou quase nada representadas no sub-bosque.

Baseado nos valores mostrados na TABELA 8, obtidos para as variáveis densidade, área basal, biomassa, volume e diversidade de espécies nas 20 unidades de amostra e nos três estratos (indivíduos com  $DAP \geq 10$  cm), procurou-se definir grupos que caracterizassem as diferenças existentes entre as unidades de amostra em relação as variáveis de interesse nos três estratos florestais, por isso, procedeu-se uma nova análise de agrupamento, cujo resultado encontra-se na TABELA 9. Ressalta-se que a definição do número de agrupamentos efetuados esteve em função da amplitude de valores e desvio padrão observados entre as unidades de amostra, para cada variável de interesse.

Para a variável densidade, no estrato superior a amplitude de valores nas unidades de amostra está entre 22 e 140 ind/ha (TABELA 8 e FIGURA 13), sendo assim possível diferenciar três grupos, caracterizados por valores médios de 32,25; 69,17 e 127,61 ind/ha (TABELA 10). No estrato intermediário, a amplitude foi de 60 a 351 ind/ha e os grupos formados apresentaram valores médios de 111,75; 222,81 e 303,28 ind/ha. O estrato inferior apresentou valores entre 11 e 200 ind/ha e os grupos formados apresentam valores médios de 35,66; 95,83 e 183,33 ind/ha.

TABELA 8 – VALORES DE DENSIDADE, ÁREA BASAL, BIOMASSA, VOLUME E DIVERSIDADE DE ESPÉCIES NOS TRÊS ESTRATOS FLORESTAIS DAS 20 UNIDADES DE AMOSTRA INVENTARIADAS (DAP $\geq$ 10 cm) EM UMA FLORESTA PRIMÁRIA, MOJU, PARÁ

UNIDADE AMOSTRAL	ESTRATOS	DENSIDADE (n° ind/ha)	ÁREA BASAL (m <sup>2</sup> /ha)	BIOMASSA (ton/ha)	VOLUME (m <sup>3</sup> /ha)	DIVERSIDADE DE SIMPSON (D)
1	Superior	91	13,89	185,06	245,31	0,89
	Intermediário	219	11,13	99,61	126,91	0,82
	Inferior	100	1,87	10,60	12,71	0,57
2	Superior	30	12,82	195,48	270,20	0,86
	Intermediário	233	13,58	131,99	167,78	0,89
	Inferior	100	2,11	10,82	13,02	0,62
3	Superior	61	16,32	186,72	249,49	0,80
	Intermediário	181	13,82	123,81	160,35	0,77
	Inferior	89	2,31	10,06	12,13	0,79
4	Superior	72	12,65	177,48	237,70	0,89
	Intermediário	214	11,10	102,62	130,46	0,80
	Inferior	23	0,55	3,14	3,86	0,09
5	Superior	58	11,19	127,29	169,53	0,86
	Intermediário	351	15,92	153,18	193,15	0,86
	Inferior	44	0,81	4,23	5,06	0,63
6	Superior	22	9,47	110,26	150,63	0,70
	Intermediário	150	12,63	113,90	147,02	0,89
	Inferior	122	2,87	13,01	15,65	0,81
7	Superior	26	8,24	117,77	160,51	0,79
	Intermediário	213	11,01	105,73	134,60	0,87
	Inferior	56	1,2241	4,35	5,18	0,66
8	Superior	46	11,38	134,34	181,56	0,80
	Intermediário	311	14,59	132,45	167,26	0,88
	Inferior	44	0,96	3,62	4,32	0,50
9	Superior	39	8,71	97,69	130,09	0,82
	Intermediário	259	13,01	125,34	159,80	0,86
	Inferior	22	0,67	3,49	4,25	0,51
10	Superior	22	4,67	60,98	81,52	0,75
	Intermediário	95	7,62	70,73	91,30	0,81
	Inferior	78	2,10	11,31	13,70	0,79
11	Superior	33	11,00	158,53	215,43	0,83
	Intermediário	311	15,71	140,10	176,81	0,81
	Inferior	33	0,50	2,93	3,49	0,68
12	Superior	22	7,23	91,48	124,13	0,76
	Intermediário	247	17,44	152,16	195,34	0,92
	Inferior	200	3,21	14,80	17,67	0,88
13	Superior	42	6,77	96,39	129,04	0,84
	Intermediário	302	16,44	141,39	178,99	0,90
	Inferior	167	3,82	19,47	23,47	0,88
14	Superior	65	12,50	164,45	218,96	0,86
	Intermediário	142	6,52	62,69	79,73	0,88
	Inferior	11	0,51	2,62	3,22	0,00
15	Superior	26	4,38	58,16	77,39	0,81
	Intermediário	60	4,15	35,53	45,21	0,83
	Inferior	100	1,95	10,56	12,68	0,77
16	Superior	66	13,81	189,59	252,71	0,88
	Intermediário	292	16,04	145,12	184,12	0,80
	Inferior	78	1,34	7,67	9,18	0,42
17	Superior	40	11,26	145,30	196,74	0,75
	Intermediário	292	15,51	150,73	191,64	0,89
	Inferior	44	0,71	3,92	4,68	0,63
18	Superior	115	14,10	191,93	253,92	0,92
	Intermediário	216	13,95	136,30	173,94	0,89
	Inferior	100	1,72	8,84	10,55	0,57
19	Superior	140	13,47	179,70	235,22	0,87
	Intermediário	277	10,98	100,16	125,70	0,79
	Inferior	56	0,89	5,22	6,24	0,34
20	Superior	37	12,76	148,32	200,43	0,83
	Intermediário	291	18,21	167,89	216,05	0,73
	Inferior	22	0,46	1,49	1,77	0,51

TABELA 9 - UNIDADES DE AMOSTRA CONSTITUINTES DOS GRUPOS OBTIDOS PELO ALGORITMO DE K-MÉDIAS PARA CINCO VARIÁVEIS ESTANDARDIZADAS EM RELAÇÃO AOS TRÊS ESTRATOS FLORESTAIS DE UMA ÁREA DE FLORESTA PRIMÁRIA, MOJU, PARÁ

VARIÁVEL	ESTRATOS	UNIDADES DE AMOSTRA		
		Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Densidade (n° ind/ha)	Superior	1,3,4,5,14,16	2,6,7,8,9,10,11,12,13,15,17,20	18,19
	Intermediário	1,2,3,4,7,9,12,18	5,8,11,13,16,17,19,20	6,10,14,15
	Inferior	1,2,3,6,10,15,16,18	4,5,7,8,9,11,14,17,19,20	12,13
Área basal (m²/ha)	Superior	1,3,16,18,19	2,4,5,6,8,11,14,17,20	7,9,10,12,13,15
	Intermediário	1,2,3,4,6,7,9,18,19	5,8,11,12,13,16,17,20	10,14,15
	Inferior	1,2,3,10,15,18	4,5,7,8,9,11,14,16,17,19,20	6,12,13
Biomassa (ton/ha)	Superior	1,2,3,4,11,14,16,18,19	5,6,7,8,17,20	9,10,12,13,15
	Intermediário	1,3,4,6,7,9,19	2,5,8,11,12,13,16,17,18,20	10,14,15
	Inferior	1,2,3,6,10,15,16,18	4,5,7,8,9,11,14,17,19,20	12,13
Volume (m³/ha)	Superior	1,2,3,4,11,14,16,18,19	5,6,7,8,17,20	9,10,12,13,15
	Intermediário	1,3,4,6,7,9,19	2,5,8,11,12,13,16,17,18,20	10,14,15
	Inferior	1,2,3,6,10,15,16,18	4,5,7,8,9,11,14,17,19,20	12,13
Diversidade de Simpson	Superior	1,2,4,5,9,11,13,14,16,18,19,20	3,6,7,8,10,12,15,17	-
	Intermediário	1,3,4,10,11,15,16,19,20	2,5,6,7,8,9,12,13,14, 17,18	-
	Inferior	1,2,5,7,8,9,16,17,18,19,20	3,6,10,11,12,13,15	4,14

TABELA 10 - MÉDIA ( $\bar{x}$ ) E DESVIO PADRÃO ( $s$ ) DAS VARIÁVEIS DENSIDADE, ÁREA BASAL, BIOMASSA, VOLUME E DIVERSIDADE DE ESPÉCIES DOS TRÊS ESTRATOS FLORESTAIS PARA OS GRUPOS GERADOS PELA ANÁLISE DE AGRUPAMENTO EM UMA ÁREA DE FLORESTA PRIMÁRIA, MOJU, PARÁ

GRUPO	ESTRATO	ESTATÍSTICA	DENSIDADE (n° ind/ha)	ÁREA BASAL (m²/ha)	BIOMASSA (ton/ha)	VOLUME (m³/ha)	DIVERSID. DE SIMPSON
Grupo 1	Superior	$\bar{x}$	69,17	14,32	180,99	242,10	0,86
		$s$	11,61	1,14	12,47	17,39	0,03
	Intermediário	$\bar{x}$	222,81	12,36	110,17	140,69	0,79
		$s$	24,10	1,29	10,94	14,99	0,03
	Inferior	$\bar{x}$	95,83	2,01	10,36	12,45	0,54
		$s$	14,47	0,21	1,60	1,95	0,09
Grupo 2	Superior	$\bar{x}$	32,25	11,67	130,54	176,56	0,77
		$s$	8,65	1,11	15,05	19,91	0,04
	Intermediário	$\bar{x}$	303,28	16,23	145,13	184,51	0,88
		$s$	22,59	1,13	11,13	14,97	0,02
	Inferior	$\bar{x}$	35,66	0,78	3,50	4,20	0,80
		$s$	15,44	0,30	1,03	1,23	0,06
Grupo 3	Superior	$\bar{x}$	127,61	6,66	80,94	108,43	-
		$s$	17,83	1,80	19,67	26,59	-
	Intermediário	$\bar{x}$	111,75	6,10	56,31	72,08	-
		$s$	42,57	1,77	18,45	23,98	-
	Inferior	$\bar{x}$	183,33	3,30	17,13	20,57	0,03
		$s$	23,57	0,48	3,30	4,10	0,05



FIGURA 13 – GRUPOS GERADOS PARA VARIÁVEL DENSIDADE: (a) – ESTRATO SUPERIOR; (b) - ESTRATO INTERMEDIÁRIO; (c) - ESTRATO INFERIOR

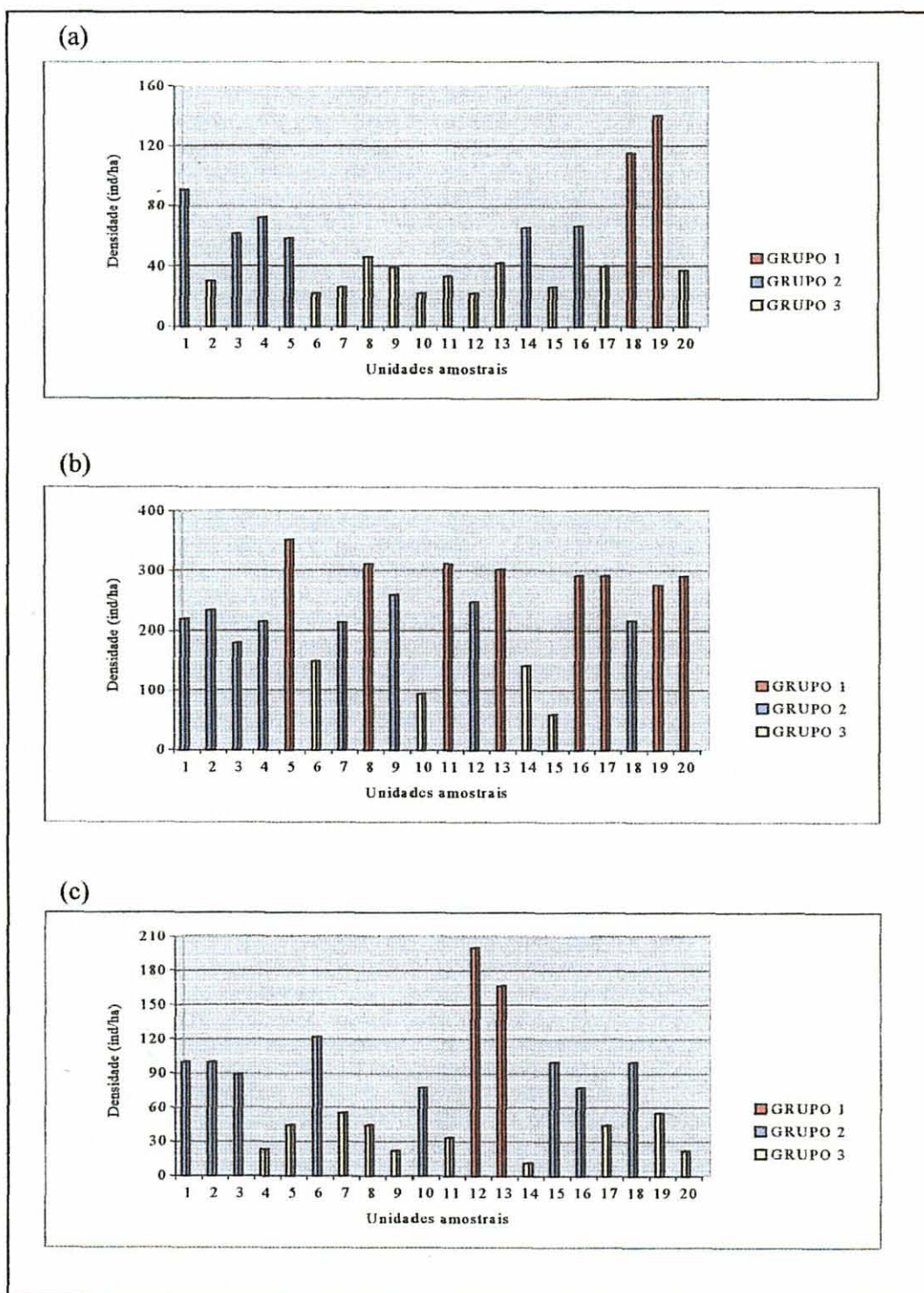




FIGURA 14 – GRUPOS GERADOS PARA VARIÁVEL ÁREA BASAL: (a) – ESTRATO SUPERIOR; (b) – ESTRATO INTERMEDIÁRIO; (c) – ESTRATO INFERIOR

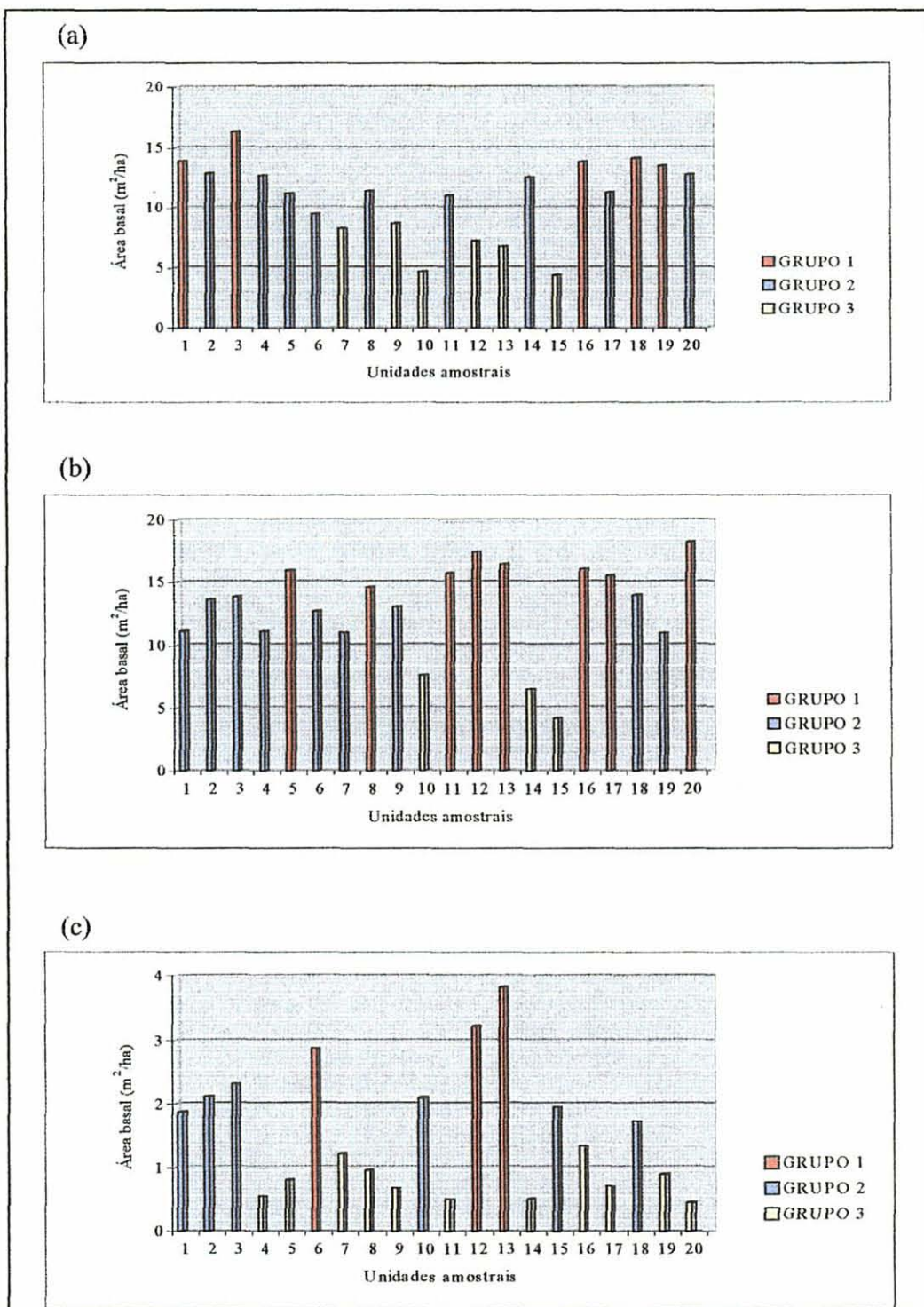


FIGURA 15 – GRUPOS GERADOS PARA VARIÁVEL BIOMASSA: (a) – ESTRATO SUPERIOR; (b) - ESTRATO INTERMEDIÁRIO; (c) - ESTRATO INFERIOR

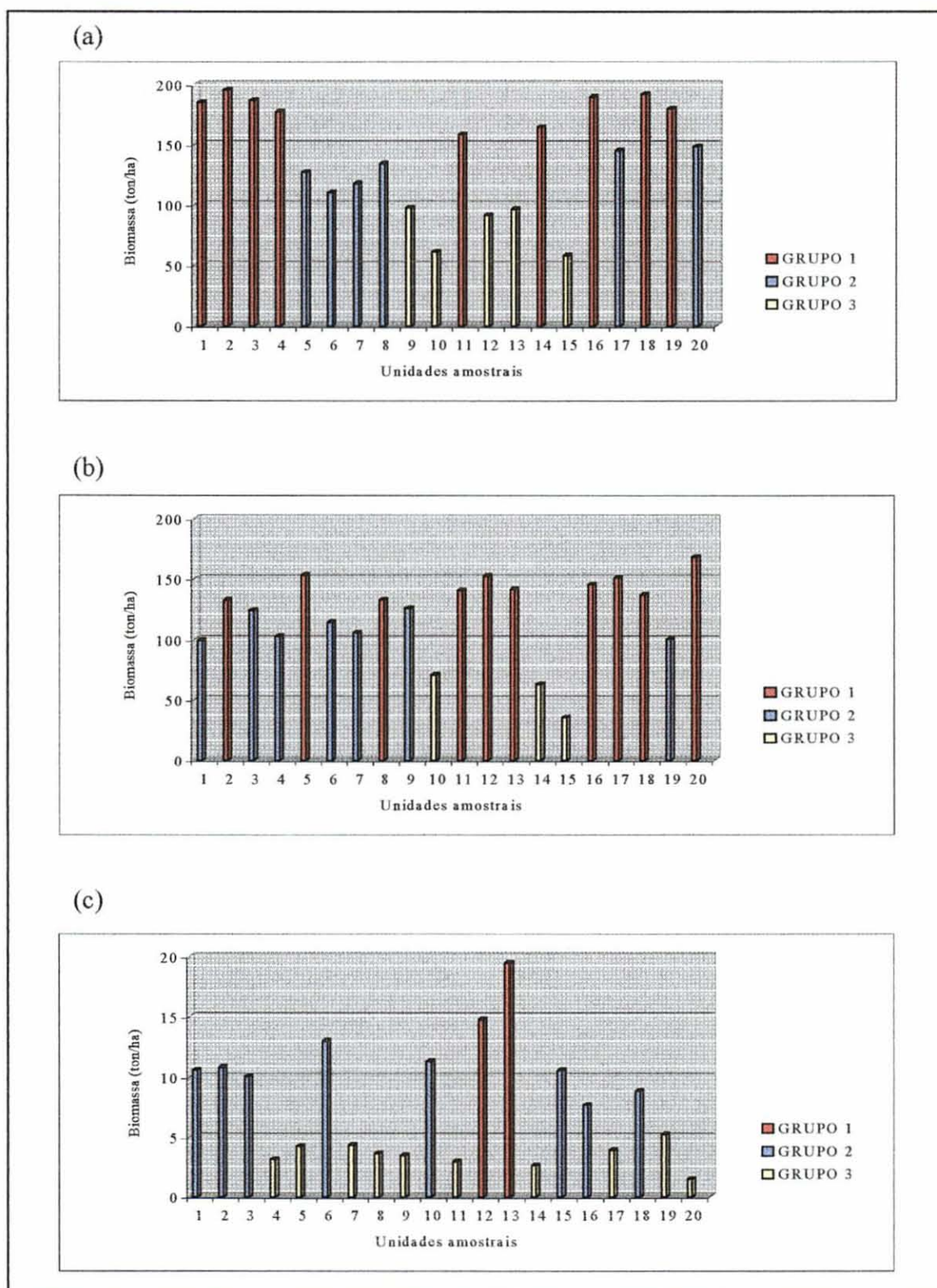
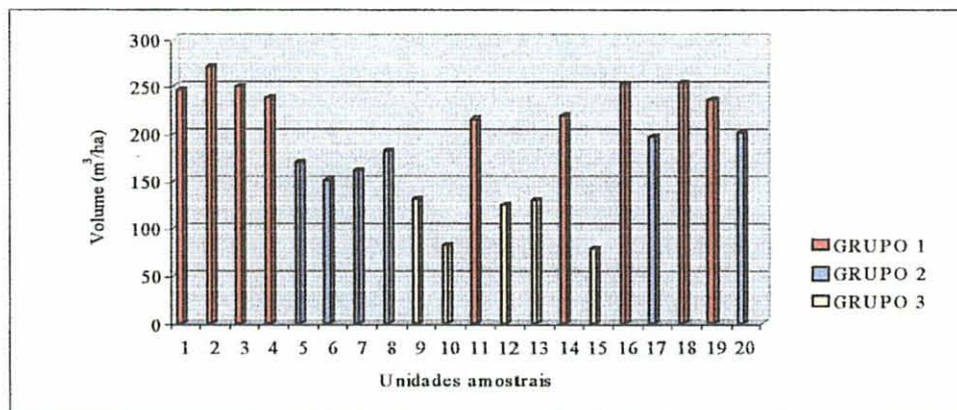


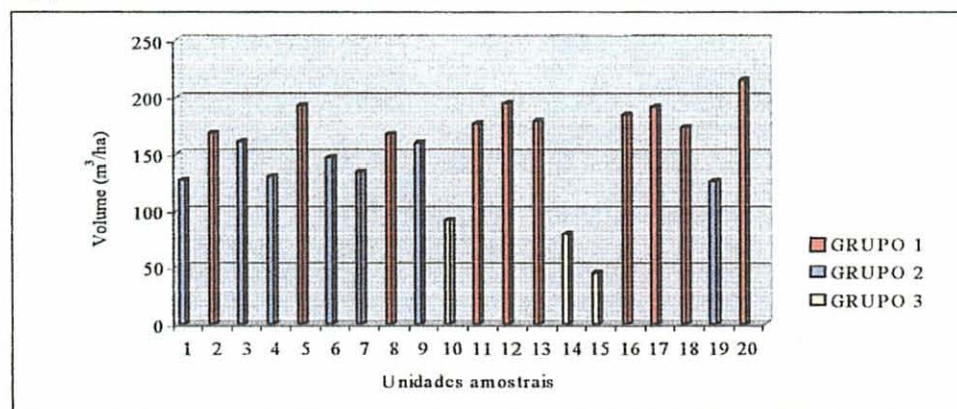


FIGURA 16 – GRUPOS GERADOS PARA VARIÁVEL VOLUME: (a) - ESTRATO SUPERIOR; (b) - ESTRATO INTERMEDIÁRIO; (c) - ESTRATO INFERIOR

(a)



(b)



(c)

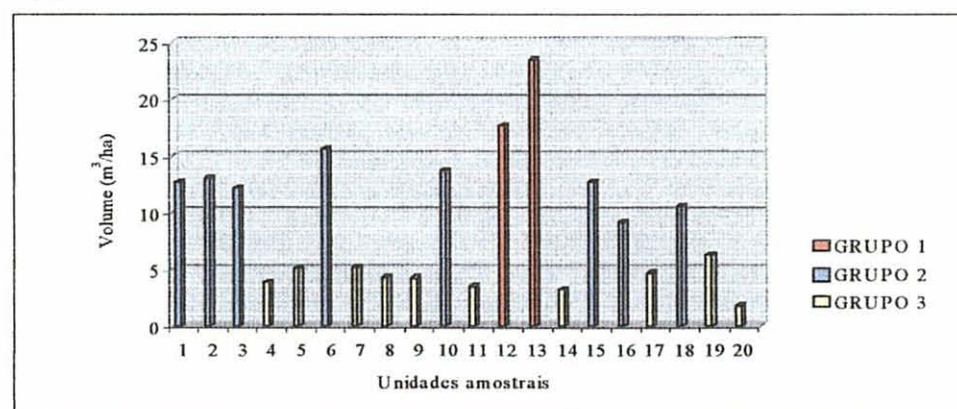
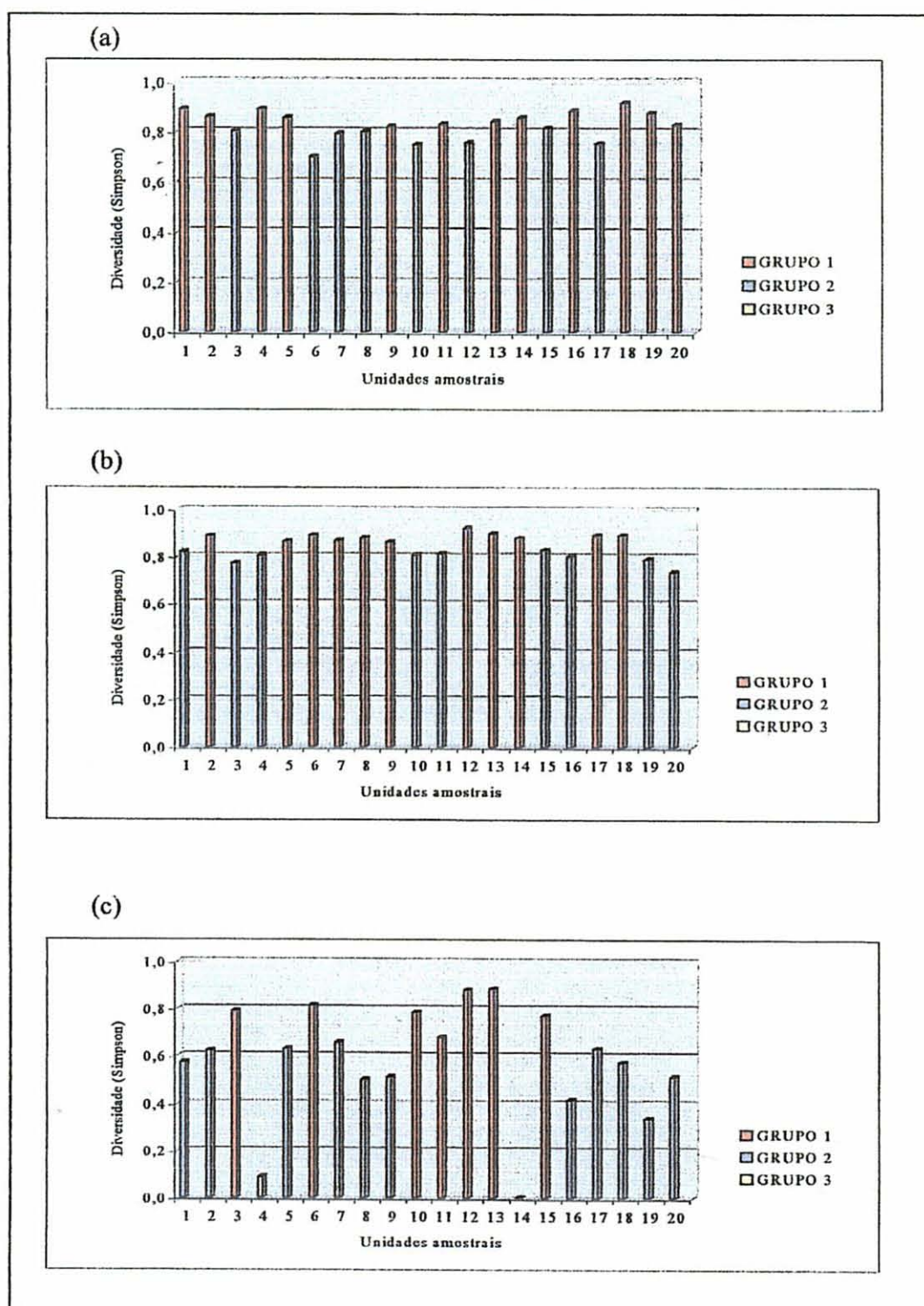


FIGURA 17 – GRUPOS GERADOS PARA VARIÁVEL DIVERSIDADE: (a) - ESTRATO SUPERIOR; (b) - ESTRATO INTERMEDIÁRIO; (c) - ESTRATO INFERIOR



Em relação à área basal, conforme apresentado na TABELA 8 e FIGURA 14 no estrato superior, observa-se valores entre 4,38 e 16,32 m<sup>2</sup>/ha, sendo também possível caracterizar três grupos distintos, com valores médios de 6,66; 11,67 e 14,32 m<sup>2</sup>/ha (TABELA 10). O estrato intermediário apresentou valores entre 4,15 e 18,21 m<sup>2</sup>/ha e os grupos formados apresentam valores médios de 6,10; 12,36 e 16,23 m<sup>2</sup>/ha. No estrato inferior, a amplitude foi de 0,46 e 3,82 m<sup>2</sup>/ha e os grupos formados apresentaram valores médios de 0,78; 2,01 e 3,30 m<sup>2</sup>/ha.

Em função de uma amplitude de 58,16 a 195,48 ton/ha de biomassa total no estrato superior (TABELA 8 e FIGURA 15), os três grupos gerados caracterizaram-se por valores médios de 80,94; 130,54 e 180,99 ton/ha (TABELA 10). No estrato intermediário, a amplitude foi de 35,53 a 167,89 ton/ha e os grupos formados apresentaram valores médios de 56,31; 110,17 e 145,13 ton/ha. O estrato inferior apresentou valores entre 1,49 e 19,47 ton/ha e os grupos formados apresentam valores médios de 3,50; 10,36 e 17,13 ton/ha.

No estrato superior, em relação ao volume observa-se valores entre 77,39 e 270,20 m<sup>3</sup>/ha (TABELA 8 e FIGURA 16), sendo que os três grupos formados apresentam valores médios de 108,43; 176,56 e 242,10 m<sup>3</sup>/ha (TABELA 10). O estrato intermediário apresentou valores entre 45,21 e 216,05 m<sup>3</sup>/ha e os grupos formados apresentaram valores médios de 72,08; 140,69 e 184,51 m<sup>3</sup>/ha. No estrato inferior, a amplitude foi de 1,77 e 23,47 m<sup>3</sup>/ha e os grupos formados apresentaram valores médios de 4,20; 12,45 e 20,57 m<sup>3</sup>/ha.

Na TABELA 8 e FIGURA 17, para a variável diversidade de espécies observa-se uma amplitude de valores de 0,70 a 0,92 no estrato superior, onde os grupos gerados apresentam valores médios de 0,77 e 0,86 (TABELA 10). No estrato intermediário, a amplitude foi de 0,73 a 0,92 e os grupos formados apresentaram valores médios de 0,79 e 0,88. O estrato inferior apresentou valores entre 0 e 0,89 e os três grupos formados apresentaram valores médios de 0,03; 0,54 e 0,80.

## 5.5 PROCESSAMENTO DE IMAGENS

### 5.5.1 Modelo Linear de Mistura Espectral - MLME

A geração das imagens proporção vegetação, solo e sombra implicou inicialmente na seleção do pixel puro de cada componente, sendo realizado a partir do conhecimento de campo e da análise da resposta espectral destes nas bandas analisadas.

Para o componente vegetação o pixel puro foi selecionado em área de vegetação secundária (capoeira), caracterizada por ser estruturalmente mais uniforme e fotossinteticamente mais ativa que a floresta primária (PIRES, 1982). Para o componente solo, o pixel foi selecionado em área de solo exposto, enquanto que para o componente sombra, foi selecionado um pixel relativo à água limpa devido a ausência de sombras topográficas na cena.

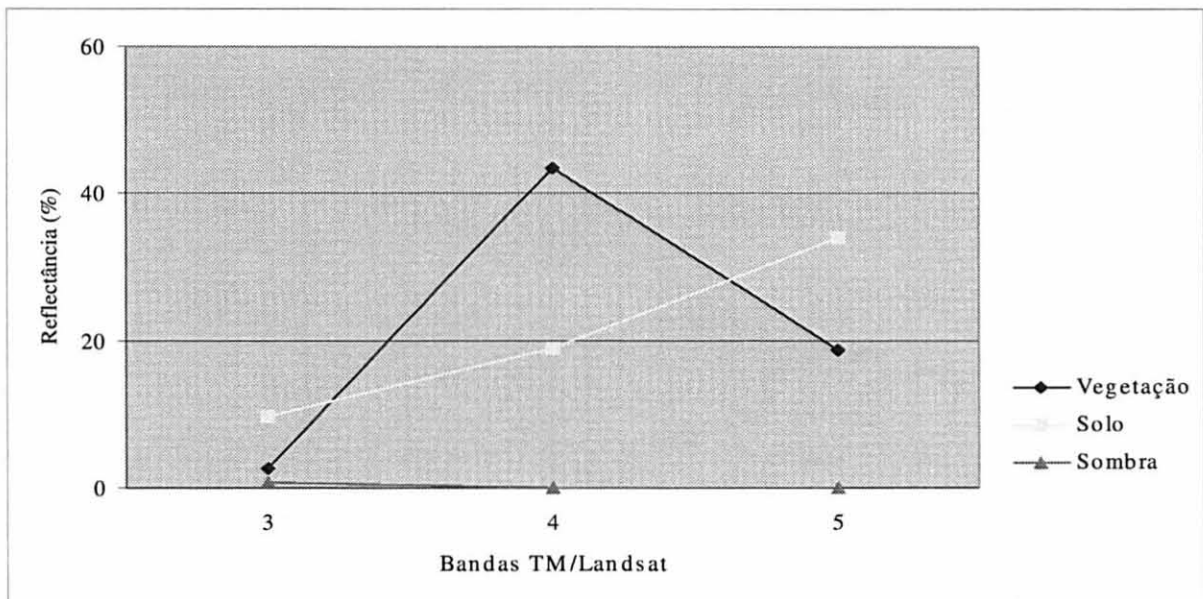
Uma vez que a lista de possíveis componentes foi montada realizou-se sucessivas resoluções da equação de mistura, até que o erro observado fosse o mais reduzido possível.

Os valores de reflectância (TABELA 11) e as curvas de reflectância dos pixels puros escolhidos podem ser visualizados na FIGURA 18. A avaliação dos valores dos pixels das imagens proporção, bem como da imagem erro, gerada juntamente com as imagens proporção, possibilitaram a análise da adequação dos pixels selecionados e do modelo final empregado.

TABELA 11 - RESPOSTA ESPECTRAL DOS COMPONENTES PUROS

COMPONENTES	BANDA 3	BANDA 4	BANDA 5
Vegetação	0,026	0,436	0,188
Solo	0,097	0,189	0,341
Sombra	0,008	0	0

FIGURA 18 - ESPAÇO DE ATRIBUTOS ESPECTRAIS DOS COMPONENTES PUROS NO MODELO DE MISTURA



As imagens proporção geradas não apresentam valores inferiores a 0 ou superiores a 1, os valores de erro médio quadrático (RMS) foram bastante reduzidos (0,123), indicando que o conjunto de pixels de referência modelaram adequadamente a variação espectral da cena (GILLESPIE et al. 1990).

Na FIGURA 19 pode-se visualizar as imagens proporção vegetação, solo e sombra, onde a análise individual dessas imagens possibilitou a discriminação visual de diferentes classes, onde a variação nos níveis de cinza correspondem às diferentes proporções dos componentes, sendo que os altos valores de cinza caracterizam a dominância do componente em questão.

Nas imagens vegetação (FIGURA 19 a), solo (FIGURA 19 b) e sombra (FIGURA 19 c) as áreas florestadas são facilmente delimitadas, inclusive podendo-se visualizar com clareza áreas que sofreram exploração seletiva, bem como diferenciações de estágios sucessionais. A FIGURA 20 mostra a secção ampliada de uma imagem composição colorida 5-4-3 e proporção vegetação, solo e sombra de uma área de floresta primária submetida a exploração seletiva.



FIGURA 19- IMAGENS PROPORÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO: (a) VEGETAÇÃO, (b) SOLO E (c) SOMBRA

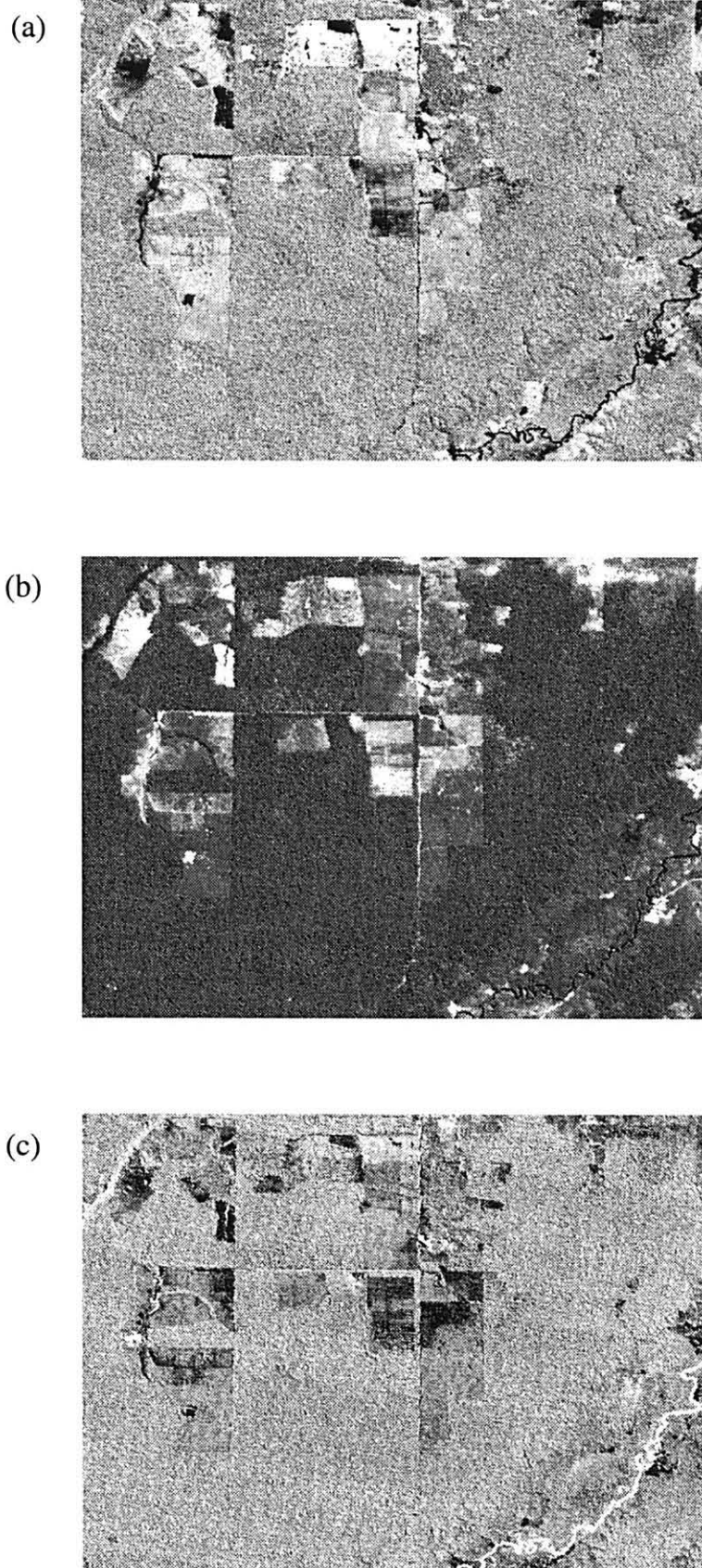
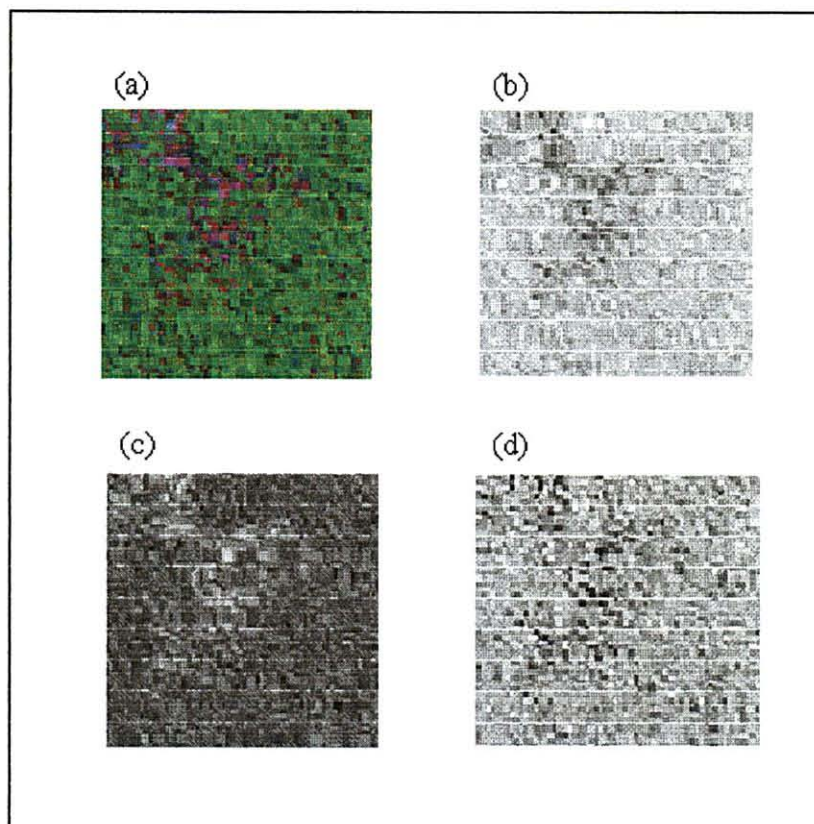


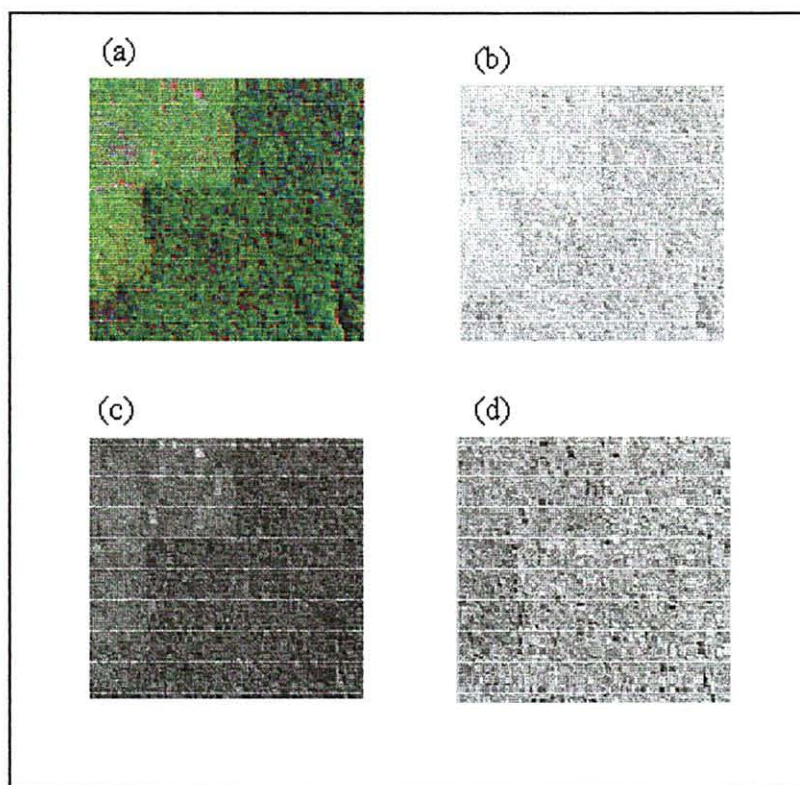


FIGURA 20 - SECÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO CORRESPONDENTE A UMA ÁREA DE FLORESTA PRIMÁRIA SUBMETIDA À EXPLORAÇÃO SELETIVA: (a) IMAGEM COMPOSIÇÃO COLORIDA 5-4-3, (b) PROPORÇÃO VEGETAÇÃO, (c) PROPORÇÃO SOLO E, (d) PROPORÇÃO SOMBRA



Verifica-se nas imagens vegetação (FIGURA 20 b) e solo (FIGURA 20 c) um contraste acentuado entre a floresta não explorada e a parte que sofreu exploração. Na porção sombra (FIGURA 20 d) este contraste é mais sutil, pois existe grande quantidade de sombra em ambos os casos. Na parte não explorada existem indivíduos de diferentes alturas formando vários estratos, caracterizando uma alta proporção de sombra, já na parte explorada a presença de sombra é devido à morfologia irregular do dossel formado pelas árvores remanescentes.

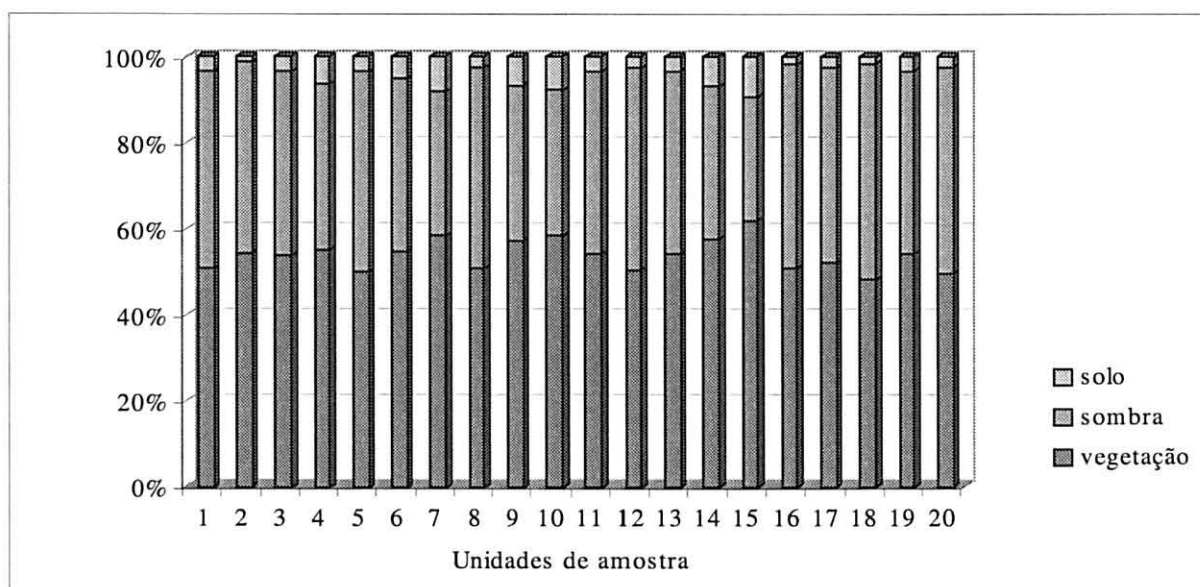
FIGURA 21 – SECÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO CORRESPONDENTE A UMA ÁREA DE CONTATO DE FLORESTA PRIMÁRIA E VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA (CAPOEIRA): (a) IMAGEM COMPOSIÇÃO COLORIDA 5-4-3, (b) PROPORÇÃO VEGETAÇÃO, (c) PROPORÇÃO SOLO E, (d) PROPORÇÃO SOMBRA



Na FIGURA 21 é possível visualizar uma área de contato de floresta primária e vegetação secundária (capoeira), podendo-se observar que a floresta secundária diferencia-se da floresta primária por maiores proporções das componentes vegetação e solo e menor proporção de sombra. Essa menor quantidade de sombra é gerada por um crescimento mais homogêneo dos indivíduos que formam um dossel mais uniforme, como observado por ADAMS (1995) e PEREIRA (1998) aumentando assim, a proporção do componente vegetação, decorrente também de uma maior capacidade fotossintética (PIRES, 1982).

A análise quantitativa das imagens proporção possibilitou a verificação dos espaços de atributos espectrais ocupados por cada unidade de amostra inventariada em campo, podendo ser visualizados na FIGURA 22.

FIGURA 22 - PROPORÇÕES VEGETAÇÃO, SOLO E SOMBRA, PARA AS UNIDADES AMOSTRAIS INVENTARIADAS EM UMA ÁREA DE FLORESTA PRIMÁRIA, MOJU, PARÁ



A área de floresta primária inventariada, com indivíduos de diferentes alturas formando vários estratos, caracterizou-se por uma porcentagem média do componente vegetação de 50%, 45% do componente sombra e 5% do componente solo. Essa grande quantidade de vegetação e sombra é explicada por PIRES (1982), quando referencia áreas de floresta, em que a seleção natural para o crescimento e para a regeneração é baseada na aptidão de captar luz, formar biomassa, cobrir e fazer sombra sobre os elementos concorrentes.

Os resultados encontrados neste estudo estão próximos aos produzidos por ARAÚJO (1999), que encontrou valores médios próximo a 50% para os componentes vegetação e sombra, e valores de proporção de solo praticamente nulos em uma floresta primária no Estado de Roraima. BERNARDES (1998), quando estudou uma área de floresta primária situada na Floresta Nacional do Tapajós – Pará, encontrou proporção de 50% para o componente vegetação e 50% para o componente sombra.

Analizando a TABELA 4 mostrada no item 5.3, onde as unidades de amostra são caracterizadas em função das variáveis biométricas, observou-se que as unidades amostrais 7, 10 e 15 apresentaram valores baixos de área basal, biomassa e volume,

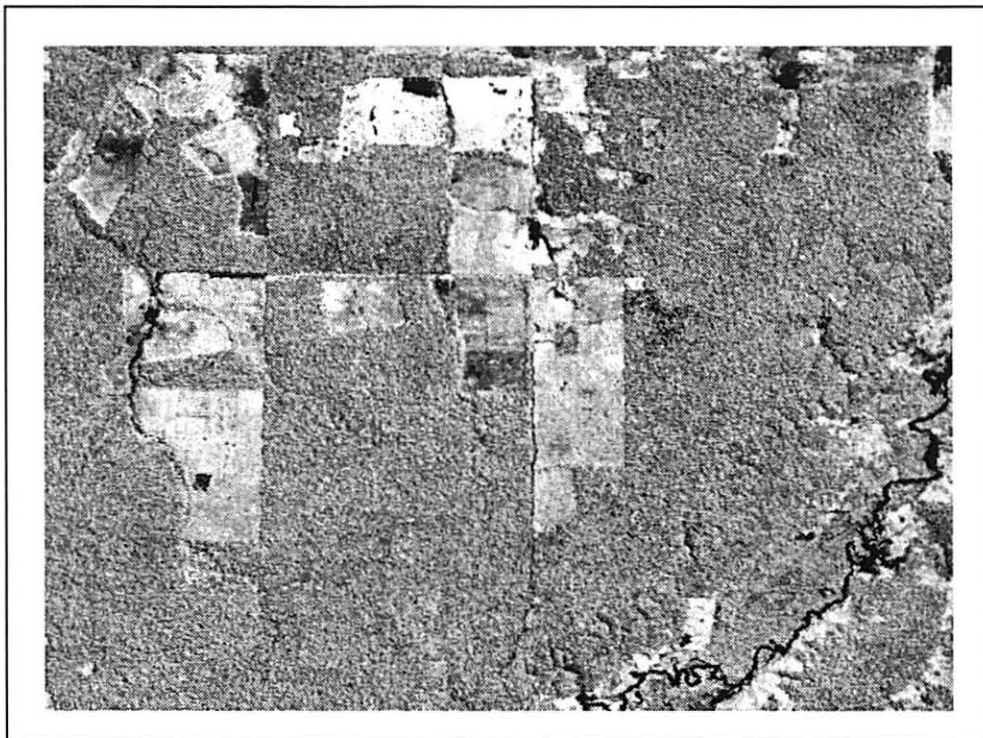


esse fato é retratado aqui por uma maior proporção de solo e menor proporção de sombra, bem como alta proporção do componente vegetação ( FIGURA 22), o que indica a influência da vegetação de sub-bosque na caracterização espectral dessas unidades amostrais. Verifica-se também que as unidades amostrais 2, 16 e 18, que apresentaram altos valores de área basal, biomassa e volume (TABELA 4), apresentam também baixa proporção de solo, indicando que a cobertura formada pelas copas é contínua e o dossel forma uma superfície irregular, causada pela presença de árvores de diferentes alturas, que conseqüentemente produz grande quantidade de sombra.

#### 5.5.2 Índice de Vegetação Ajustado para Influência do Solo (SAVI)

Visualmente, a imagem gerada pelo modelo SAVI (FIGURA 23) assemelha-se à imagem proporção de vegetação, onde são realçadas as áreas florestadas, com boa delimitação entre essas e aquelas não florestadas.

FIGURA 23 – IMAGEM SAVI ( $L = 0,25$ ) DA ÁREA DE ESTUDO

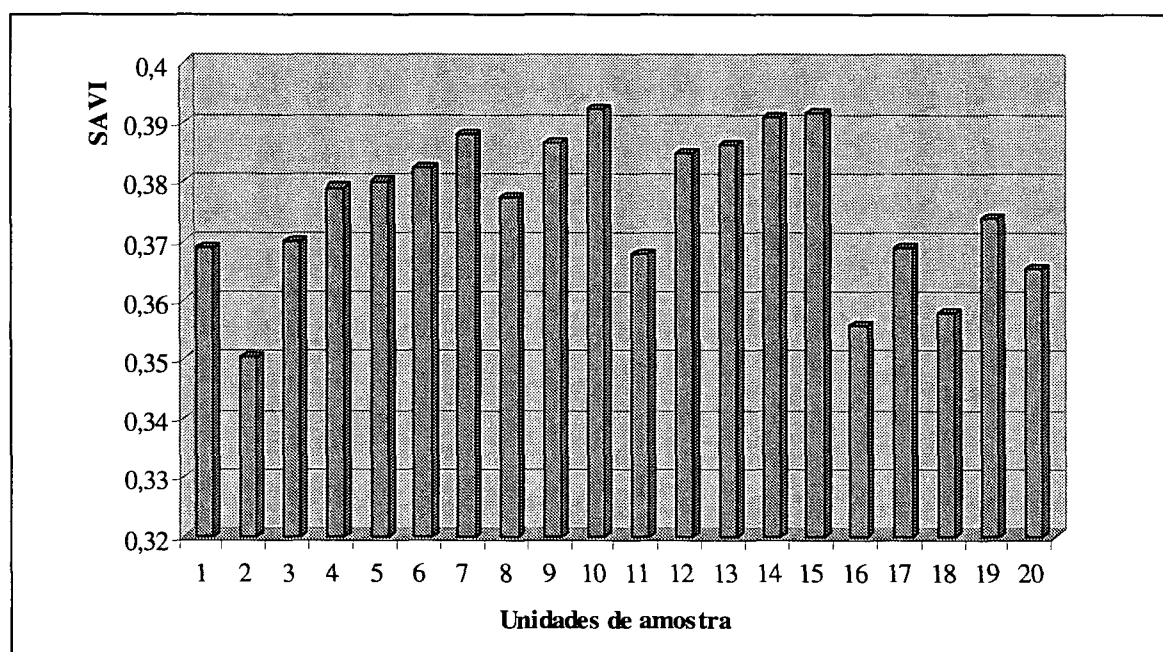


Na análise dos dados oriundos da imagem SAVI, os mais altos valores do índice foram observados em áreas de vegetação em estágios sucessionais pouco avançados, valor que vai decrescendo à medida que se observa estágios mais avançados de crescimento da floresta. Na floresta primária evidencia-se valores mais baixos do que os observados em áreas de vegetação em estágios sucessionais, apesar da maior biomassa.

Tais resultados devem-se à maior quantidade de sombra na floresta primária e também à sua menor capacidade fotossintética, ocasionando menor resposta espectral dessa vegetação em relação às áreas em sucessão. BERNARDES (1998), também encontrou decréscimo no valor de SAVI com o aumento da biomassa.

A FIGURA 24 apresenta os valores de índice SAVI encontrados para as 20 unidades de amostra levantadas em campo.

FIGURA 24 – ÍNDICE SAVI ( $L=0,5$ ) PARA AS UNIDADES AMOSTRAIS INVENTARIADAS EM UMA ÁREA DE FLORESTA PRIMÁRIA, MOJU, PARÁ



De forma análoga à imagem proporção vegetação, os menores valores de SAVI foram observados nas unidades caracterizadas por altos valores de área basal, biomassa e volume (unidades 2, 16 e 18 - TABELA 4), bem como maiores valores de

SAVI nas de baixos valores de área basal, biomassa e volume (unidades 10 e 15). Esta diferenciação apresenta-se decorrente, principalmente, da maior ou menor proporção de sombra ocasionada pela estrutura do dossel.

Este índice mostrou-se como bom discriminador, caracterizando bem o comportamento das intra-classes de floresta primária em termos de área basal, biomassa e volume.

### 5.5.3 Análise de Textura

A FIGURA 25 demonstra os valores de textura dos parâmetros média, variância, segundo momento angular e homogeneidade encontrados para as 20 unidades de amostra levantadas em campo.

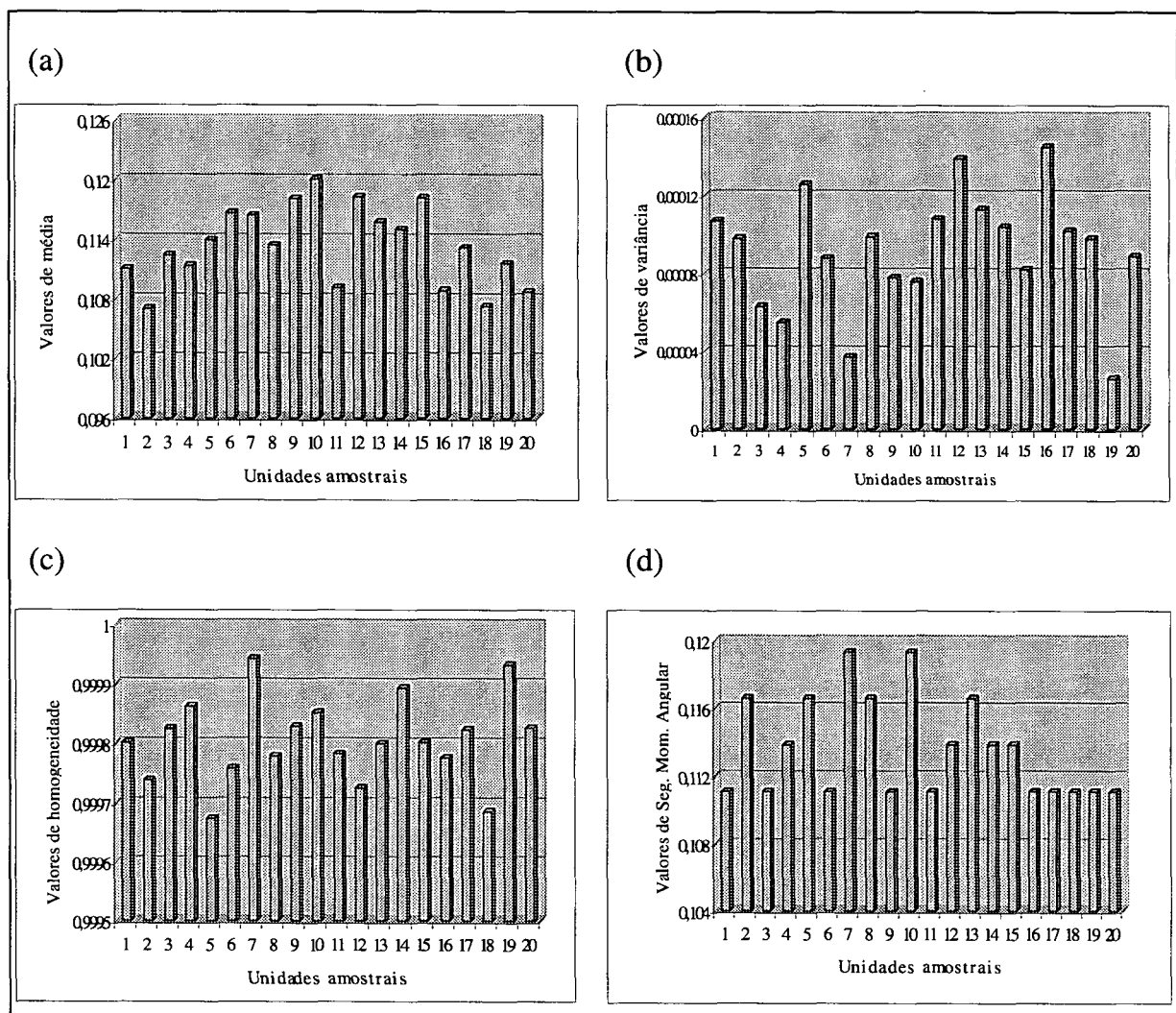
Como pode-se observar em relação às unidades amostrais, o parâmetro média (FIGURA 25a) revelou uma resposta semelhante à resposta do SAVI, ou seja, os maiores valores apresentaram-se nas unidades 10 e 15 que apresentam os menores valores de área basal, biomassa e volume e os menores valores do parâmetro média foram observados nas 2, 16 e 18 que apresentam altos valores de área basal, biomassa e volume.

Para os parâmetros variância, homogeneidade e segundo momento angular (FIGURA 25b, 25c e 25d) não foi possível evidenciar claramente nenhuma relação com as às variáveis biométricas nas unidades amostrais estudadas.

Percebe-se que baixíssimos valores de variância (FIGURA 25b) foram observados para todas as unidades amostrais (entre 0,00002 e 0,00014). Para o parâmetro homogeneidade (FIGURA 25c), que pode variar entre 0 e 1, observa-se valores próximos a 1, indicando pouca variação local em todas as unidades de amostra, o que produz um baixo contraste, caracterizado por mudanças lentas nos valores dos níveis de cinza.

Para o parâmetro segundo momento angular (FIGURA 25d), que também varia entre 0 e 1, observa-se baixos valores, entre 0,11 e 0,12, ou seja uma pequena variação entre as unidades de amostra, indicando uma baixa uniformidade textural entre as unidades amostrais, consequentemente uma alta aleatoriedade provocada pela pouca repetição de pares de níveis de cinza, decorrente, provavelmente, da complexidade estrutural da floresta e das diferentes proporções de sombra e solo presente em cada pixel.

FIGURA 25 – VALORES DOS PARÂMETROS TEXTURAIS DAS UNIDADES AMOSTRAIS INVENTARIADAS EM UMA ÁREA DE FLORESTA PRIMÁRIA, MOJU, PARÁ: (a) MÉDIA; (b) VARIÂNCIA; (c) HOMOGENEIDADE; (d) SEGUNDO MOMENTO ANGULAR



Para melhor entendimento, referencia-se o trabalho de WOODCOCK E STRAHLER (1987), o qual conclui que o valor de textura mensurado no processamento da imagem depende da relação entre a cena imageada e a resolução espacial do sensor. Quando a resolução espacial de um sensor é relativamente menor que os objetos da cena, então a maioria das medidas (i. e., números digitais) da imagem são altamente correlacionadas com as de sua vizinhança. Por outro lado, quando o tamanho dos objetos se aproxima da resolução espacial do sensor, as semelhanças entre as medidas vizinhas diminuem. Por último, quando a resolução espacial do sensor diminui, vários objetos serão encontrados num único pixel, tornando as medidas pouco uniformes.

Diferentemente deste estudo, que procura avaliar a informação textural como uma ferramenta para análise de atributos estruturais da floresta, muitas citações a favor da utilização de características texturais como complemento às informações espectrais de imagens podem ser encontradas em literatura, porém verifica-se que tais estudos são geralmente direcionados ao melhoramento de classificações, entre eles MARCEAU et al. (1990); FRANKLIN e PEDDLE (1990); SALI e WOLFSON (1992); KUSHWAHA et al. (1994).

## 5.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise estatística foi realizada para o conjunto de dados, considerando a floresta como um todo, bem como para os diferentes estratos florestais.

Inicialmente serão apresentados os resultados obtidos pela análise de correlação entre as variáveis independentes (variáveis digitais) e as variáveis dependentes (variáveis biométricas) obtidas com o emprego de função linear e exponencial. Posteriormente serão apresentados resultados obtidos através da análise de regressão e os modelos que melhor explicam a dependência entre as variáveis.



### 5.6.1 Análise de Correlação Entre Variáveis

As matrizes de correlação relacionando as variáveis independentes (variáveis digitais) com as variáveis dependentes (variáveis biométricas), através de função linear (TABELA 12), possibilitou a determinação do grau de dependência linear entre essas variáveis.

TABELA 12 – COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS E DIGITAIS OBTIDOS ATRAVÉS DE FUNÇÃO LINEAR

	DEN	AB	BIO	VOL	DIV	REF5	REF4	REF3	SAVI	SOL	VEG	SOM	MED	VAR	HOM	SMA
DEN	1,00															
AB	0,74	1,00														
BIO	0,66	0,94	1,00													
VOL	0,55	0,92	0,98	1,00												
DIV	-0,02	-0,24	-0,34	-0,34	1,00											
REF5	-0,31	-0,43	-0,46	-0,39	0,25	1,00										
REF4	-0,45	-0,78	-0,89	-0,90	0,45	0,51	1,00									
REF3	-0,22	-0,21	-0,24	-0,25	-0,26	0,22	0,14	1,00								
SAVI	-0,40	-0,73	-0,83	-0,85	0,51	0,46	0,97	-0,11	1,00							
SOL	0,06	0,21	0,29	0,37	-0,13	0,65	0,32	0,13	-0,35	1,00						
VEG	-0,40	-0,72	-0,84	-0,88	0,43	0,22	0,95	0,05	0,94	-0,60	1,00					
SOM	0,39	0,70	0,84	0,86	0,40	-0,22	-0,94	-0,65	-0,94	0,66	-0,94	1,00				
MED	-0,38	-0,70	-0,81	-0,81	0,58	0,48	0,91	-0,05	0,93	-0,28	0,86	-0,05	1,00			
VAR	0,38	0,33	0,20	0,19	-0,03	-0,17	-0,14	0,26	-0,21	-0,06	-0,11	-0,27	-0,12	1,00		
HOM	-0,34	-0,38	-0,27	-0,24	-0,10	0,21	0,25	-0,37	0,35	0,01	0,22	0,33	0,24	-0,73	1,00	
SMA	0,00	-0,21	-0,23	-0,21	0,39	0,48	0,42	-0,07	0,43	0,16	0,31	0,24	0,41	-0,09	0,10	1,00

DEN - DENSIDADE ; AB - ÁREA BASAL; BIO - BIOMASSA; VOL - VOLUME; DIV - DIVERSIDADE; REF5 - REFLECTÂNCIA NA BANDA 5; REF4 - REFLECTÂNCIA NA BANDA 4; REF3 - REFLECTÂNCIA NA BANDA 3; SAVI - ÍNDICE DE VEGETAÇÃO AJUSTADO PARA INFLUÊNCIA DO SOLO; SOL - PROPORÇÃO SOLO; VEG - PROPORÇÃO VEGETAÇÃO; SOM - PROPORÇÃO SOMBRA; MED - PARÂMETRO TEXTURAL MÉDIA; VAR - PARÂMETRO TEXTURAL VARIÂNCIA; HOM - PARÂMETRO TEXTURAL HOMOGENEIDADE; SMA - PARÂMETRO TEXTURAL SEGUNDO MOMENTO ANGULAR.

Através da função linear, observa-se altas correlações negativas (superiores a 0,7) entre as variáveis biométricas AB, BIO e VOL e as variáveis digitais REF4, SAVI, VEG e MED, conforme pode-se verificar em destaque na TABELA 12. Fortes correlações também foram evidenciadas entre essas mesmas variáveis biométricas e a variável digital SOM, porém em sentido positivo.

Esses resultados eram esperados uma vez que nos itens anteriormente

estudados já havia sido evidenciado que as unidades amostrais que se apresentavam com altos valores para essas variáveis biométricas apresentavam também baixos valores de componente vegetação, SAVI, e parâmetro textural média e altos valores de componente sombra, como é o caso das unidades amostrais 2, 16 e 18 (TABELA 4); enquanto que os menores valores de área basal, biomassa e volume foram verificados nas unidades 7, 10 e 15 que apresentaram altos valores de componente vegetação, SAVI, e parâmetro textural média e baixos valores de componente sombra.

Observa-se que na área estudada quanto maior os valores de área basal, biomassa e volume, maior também é a quantidade de sombra, ocasionada pela estrutura irregular do dossel, tal fato provoca uma baixa resposta espectral na banda 4, explicando assim, a alta correlação negativa evidenciada entre a variável REF4 e as variáveis AB, BIO e VOL e a alta correlação positiva com a variável SOM ( $r = -0,94$ ).

Os resultados alcançados neste trabalho ratifica os evidenciados por outros autores para floresta primária na Amazônia. BERNARDES (1996) encontrou correlações altas de biomassa e área basal com as variáveis digitais proporção vegetação, proporção sombra e SAVI. ARAÚJO (1999) estudando a variável biomassa verificou altas correlações com a reflectância na banda 4, proporção vegetação, proporção sombra e SAVI. Os resultados destes autores estão próximos aos encontrados nesta pesquisa, como pode-se observar na TABELA 13.

TABELA 13 – COMPARAÇÃO ENTRE RESULTADOS DE CORRELAÇÕES ENCONTRADOS NESTA PESQUISA COM RESULTADOS DE OUTROS AUTORES

BERNARDES (1996)			ARAÚJO (1999)		NESTA PESQUISA		
VARIÁVEIS DIGITAIS	BIO	AB	VARIÁVEIS DIGITAIS	BIO	VARIÁVEIS DIGITAIS	BIO	AB
VEG	-0,78	-0,72	VEG	-0,88	VEG	-0,84	-0,72
SOMBRA	0,84	0,77	SOMBRA	0,88	SOMBRA	0,84	0,70
SAVI	-0,82	-0,73	SAVI	-0,88	SAVI	-0,83	-0,73
			BANDA 4	-0,88	BANDA 4	-0,89	-0,78

BIO - BIOMASSA; AB - ÁREA BASAL; SAVI - ÍNDICE DE VEGETAÇÃO AJUSTADO PARA INFLUÊNCIA DO SOLO.

As variáveis biométricas DEN e DIV não apresentaram fortes correlações com nenhuma variável digital estudada. A análise da matriz de correlação mostrou ainda a alta correlação entre algumas das variáveis independentes, o que é devidamente esperado, dado o aspecto de redundância das informações, o mesmo acontecendo entre algumas variáveis dependentes.

Realizou-se também análise de correlação através de função exponencial e os resultados indicaram a proximidade dos coeficientes obtidos por esta função (TABELA 14) e os obtidos pela função linear (TABELA 12), sendo que os desta última, em geral, apresentam-se mais elevados. Baseado nestes valores de correlação, decidiu-se por empregar a função linear para a continuação das análises.

TABELA 14 – COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS E DIGITAIS OBTIDOS ATRAVÉS DE FUNÇÃO EXPONENCIAL.

	LN DEN	LN AB	LN BIO	LN VOL	LN DIV	REF5	REF4	REF3	SAVI	SOL	VEG	SOM	MED	VAR	HOM	SMA
LN DEN	1,00															
LN AB	0,82	1,00														
LN BIO	0,77	0,97	1,00													
LN VOL	0,75	0,96	0,97	1,00												
LN DIV	-0,07	-0,20	-0,27	-0,27	1,00											
REF5	-0,30	-0,36	-0,37	-0,37	0,24	1,00										
REF4	-0,42	0,75	0,83	0,83	0,45	0,51	1,00									
REF3	-0,23	-0,29	-0,33	-0,33	-0,26	0,22	0,14	1,00								
SAVI	-0,41	-0,68	0,75	0,75	0,51	0,46	0,97	-0,11	1,00							
SOL	0,07	0,26	0,32	0,33	-0,13	0,65	0,32	0,13	-0,35	1,00						
VEG	-0,40	0,71	0,80	0,80	0,43	0,22	0,95	0,05	0,94	-0,60	1,00					
SOM	0,39	0,70	0,83	0,84	0,40	-0,22	-0,94	-0,65	-0,94	0,66	-0,94	1,00				
MED	-0,38	-0,61	0,73	0,73	0,58	0,48	0,91	-0,05	0,93	-0,28	0,86	-0,05	1,00			
VAR	0,26	0,29	0,19	0,19	-0,04	-0,17	-0,14	0,26	-0,21	-0,06	-0,11	-0,27	-0,12	1,00		
HOM	-0,33	-0,31	-0,21	-0,21	-0,09	0,21	0,25	-0,37	0,35	0,01	0,22	0,33	0,24	-0,73	1,00	
SMA	0,01	-0,15	-0,16	-0,16	0,40	0,48	0,42	-0,07	0,43	0,16	0,31	0,24	0,41	-0,09	0,10	1,00

LN DEN - LOGARITMO DA DENSIDADE ; AB - LOGARITMO DA ÁREA BASAL; BIO - LOGARITMO DA BIOMASSA; VOL - LOGARITMO DO VOLUME; DIV - LOGARITMO DA DIVERSIDADE; REF5 - REFLECTÂNCIA NA BANDA 5; REF4 - REFLECTÂNCIA NA BANDA 4; REF3 - REFLECTÂNCIA NA BANDA 3; SAVI - ÍNDICE DE VEGETAÇÃO AJUSTADO PARA INFLUÊNCIA DO SOLO; SOL - PROPORÇÃO SOLO; VEG - PROPORÇÃO VEGETAÇÃO; SOM - PROPORÇÃO SOMBRA; MED - PARÂMETRO TEXTURAL MÉDIA; VAR - PARÂMETRO TEXTURAL VARIÂNCIA; HOM - PARÂMETRO TEXTURAL HOMOGENEIDADE; SMA - PARÂMETRO TEXTURAL SEGUNDO MOMENTO ANGULAR.

Análises também foram realizadas procurando-se identificar a contribuição individual dos estratos superior, intermediário e inferior nas relações entre as variáveis biométricas e as variáveis digitais, ou seja, desejou-se aqui definir em qual estrato florestal as variáveis biométricas e digitais estão mais fortemente correlacionadas. Os resultados dessa análise encontram-se nas TABELA 15, 16 e 17.

TABELA 15 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS, CALCULADAS PARA O ESTRATO SUPERIOR DA FLORESTA, E AS VARIÁVEIS DIGITAIS

	DEN	AB	BIO	VOL	DIV	REF5	REF4	REF3	SAVI	SOL	VEG	SOM	MED	VAR	HOM	SMA
DEN	1,00															
AB	0,63	1,00														
BIO	0,64	0,95	1,00													
VOL	0,61	0,95	1,00	1,00												
DIV	0,71	0,54	0,65	0,63	1,00											
REF5	-0,26	-0,47	-0,47	-0,47	-0,28	1,00										
REF4	-0,34	-0,76	-0,83	-0,84	-0,40	0,51	1,00									
REF3	-0,11	-0,20	-0,26	-0,26	-0,04	0,22	0,14	1,00								
SAVI	-0,31	-0,71	-0,76	-0,78	-0,39	0,46	0,97	-0,11	1,00							
SOL	0,02	0,16	0,21	0,23	0,05	0,65	0,32	0,13	-0,35	1,00						
VEG	-0,29	-0,69	-0,77	-0,78	-0,36	0,22	0,95	0,05	0,94	-0,60	1,00					
SOM	0,25	0,67	0,75	0,77	0,27	-0,22	-0,94	-0,65	-0,94	0,66	-0,94	1,00				
MED	-0,47	-0,77	-0,86	-0,87	-0,62	0,48	0,91	-0,05	0,93	-0,28	0,86	-0,05	1,00			
VAR	-0,33	-0,06	-0,11	-0,10	-0,07	-0,17	-0,14	0,26	-0,21	-0,06	-0,11	-0,27	-0,12	1,00		
HOM	0,16	-0,02	0,02	0,01	0,00	0,21	0,25	-0,37	0,35	0,01	0,22	0,33	0,24	-0,73	1,00	
SMA	-0,33	-0,35	-0,32	-0,31	0,01	0,48	0,42	-0,07	0,43	0,16	0,31	0,24	0,41	-0,09	0,10	1,00

DEN - DENSIDADE; AB - ÁREA BASAL; BIO - BIOMASSA; VOL - VOLUME; DIV - DIVERSIDADE; REF5 - REFLECTÂNCIA NA BANDA 5; REF4 - REFLECTÂNCIA NA BANDA 4; REF3 - REFLECTÂNCIA NA BANDA 3; SAVI - ÍNDICE DE VEGETAÇÃO AJUSTADO PARA INFLUÊNCIA DO SOLO; SOL - PROPORÇÃO SOLO; VEG - PROPORÇÃO VEGETAÇÃO; SOM - PROPORÇÃO SOMBRA; MED - PARÂMETRO TEXTURAL MÉDIA; VAR - PARÂMETRO TEXTURAL VARIÂNCIA; HOM - PARÂMETRO TEXTURAL HOMOGENEIDADE; SMA - PARÂMETRO TEXTURAL SEGUNDO MOMENTO ANGULAR.

Através da matriz de correlação entre as variáveis biométricas, calculadas para o estrato superior da floresta (árvores do dossel) e as variáveis digitais, pode-se verificar altas correlações negativas ( $r > 0,7$ ) entre as variáveis biométricas AB, BIO e VOL e as variáveis digitais REF4, SAVI, VEG e MED (valores destacados na TABELA 15), apresentando esta última maiores valores de correlação. Em sentido positivo, evidencia-se fortes correlações entre essas mesmas variáveis biométricas e a variável digital SOM.

TABELA 16 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS, CALCULADAS PARA O ESTRATO INTERMEDIÁRIO DA FLORESTA, E AS VARIÁVEIS DIGITAIS

	DEN	AB	BIO	VOL	DIV	REF5	REF4	REF3	SAVI	SOL	VEG	SOM	MED	VAR	HOM	SMA
DEN	1,00															
AB	0,83	1,00														
BIO	0,84	0,99	1,00													
VOL	0,82	0,99	1,00	1,00												
DIV	0,05	0,07	0,09	0,09	1,00											
REF5	-0,17	-0,20	-0,19	-0,18	0,16	1,00										
REF4	-0,42	-0,53	-0,56	-0,56	0,24	0,51	1,00									
REF3	-0,16	-0,10	-0,07	-0,07	-0,15	0,22	0,14	1,00								
SAVI	-0,39	-0,51	-0,54	-0,55	0,27	0,46	0,97	-0,11	1,00							
SOL	0,19	0,24	0,29	0,29	-0,04	0,65	0,32	0,13	-0,35	1,00						
VEG	-0,42	-0,52	-0,57	-0,57	0,22	0,22	0,95	0,05	0,94	-0,60	1,00					
SOM	0,41	0,50	0,53	0,53	0,21	-0,22	-0,94	-0,65	-0,94	0,66	-0,94	1,00				
MED	-0,38	-0,37	-0,40	-0,40	0,32	0,48	0,91	-0,05	0,93	-0,28	0,86	-0,05	1,00			
VAR	0,32	0,51	0,49	0,49	0,22	-0,17	-0,14	0,26	-0,21	-0,06	-0,11	-0,27	-0,12	1,00		
HOM	-0,22	-0,47	-0,47	-0,48	-0,31	0,21	0,25	-0,37	0,35	0,01	0,22	0,33	0,24	-0,73	1,00	
SMA	0,18	-0,01	0,02	0,01	0,46	0,48	0,42	-0,07	0,43	0,16	0,31	0,24	0,41	-0,09	0,10	1,00

DEN - DENSIDADE ; AB - ÁREA BASAL; BIO - BIOMASSA; VOL - VOLUME; DIV - DIVERSIDADE; REF5 - REFLECTÂNCIA NA BANDA 5; REF4 - REFLECTÂNCIA NA BANDA 4; REF3 - REFLECTÂNCIA NA BANDA 3; SAVI - ÍNDICE DE VEGETAÇÃO AJUSTADO PARA INFLUÊNCIA DO SOLO; SOL - PROPORÇÃO SOLO; VEG - PROPORÇÃO VEGETAÇÃO; SOM - PROPORÇÃO SOMBRA; MED - PARÂMETRO TEXTURAL MÉDIA; VAR - PARÂMETRO TEXTURAL VARIÂNCIA; HOM - PARÂMETRO TEXTURAL HOMOGENEIDADE; SMA - PARÂMETRO TEXTURAL SEGUNDO MOMENTO ANGULAR.

No estrato intermediário são verificadas somente correlações moderadas (entre 0,50 e 0,57) entre as variáveis biométricas AB, BIO e VOL e as variáveis digitais REF4, SAVI, VEG e SOM (TABELA 16), ficando evidenciado que a vegetação do estrato intermediário também contribui para a resposta espectral da floresta estudada, embora essa resposta seja dada principalmente pela vegetação do estrato superior.

No estrato inferior da floresta (TABELA 17) observa-se que a correlação entre variáveis digitais e biométricas são fracas, o que indica que a vegetação de sub-bosque não interfere, ou pouco interfere, na resposta espectral da floresta estudada.

TABELA 17 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS, CALCULADAS PARA O ESTRATO INFERIOR DA FLORESTA, E AS VARIÁVEIS DIGITAIS

	DEN	AB	BIO	VOL	DIV	REF5	REF4	REF3	SAVI	SOL	VEG	SOM	MED	VAR	HOM	SMA
DEN	1,00															
AB	0,95	1,00														
BIO	0,94	0,98	1,00													
VOL	0,93	0,98	1,00	1,00												
DIV	0,69	0,71	0,67	0,66	1,00											
REF5	-0,15	-0,13	-0,20	-0,20	-0,17	1,00										
REF4	0,03	0,11	0,09	0,09	0,11	0,51	1,00									
REF3	-0,09	-0,14	-0,15	-0,15	0,16	0,22	0,14	1,00								
SAVI	0,05	0,14	0,12	0,12	0,06	0,46	0,97	-0,11	1,00							
SOL	-0,19	-0,24	-0,30	-0,30	-0,28	0,65	0,32	0,13	-0,35	1,00						
VEG	0,09	0,17	0,17	0,18	0,18	0,22	0,95	0,05	0,94	-0,60	1,00					
SOM	-0,08	-0,07	-0,11	-0,11	-0,34	-0,22	-0,94	-0,65	-0,94	0,66	-0,94	1,00				
MED	0,20	0,28	0,24	0,25	0,30	0,48	0,91	-0,05	0,93	-0,28	0,86	-0,05	1,00			
VAR	0,24	0,15	0,15	0,14	0,24	-0,17	-0,14	0,26	-0,21	-0,06	-0,11	-0,27	-0,12	1,00		
HOM	-0,40	-0,31	-0,31	-0,30	-0,44	0,21	0,25	-0,37	0,35	0,01	0,22	0,33	0,24	-0,73	1,00	
SMA	-0,06	-0,01	-0,06	-0,06	0,01	0,48	0,42	-0,07	0,43	0,16	0,31	0,24	0,41	-0,09	0,10	1,00

DEN - DENSIDADE ; AB - ÁREA BASAL; BIO - BIOMASSA; VOL - VOLUME; DIV - DIVERSIDADE; REF5 - REFLECTÂNCIA NA BANDA 5; REF4 - REFLECTÂNCIA NA BANDA 4; REF3 - REFLECTÂNCIA NA BANDA 3; SAVI - ÍNDICE DE VEGETAÇÃO AJUSTADO PARA INFLUÊNCIA DO SOLO; SOL - PROPORÇÃO SOLO; VEG - PROPORÇÃO VEGETAÇÃO; SOM - PROPORÇÃO SOMBRA; MED - PARÂMETRO TEXTURAL MÉDIA; VAR - PARÂMETRO TEXTURAL VARIÂNCIA; HOM - PARÂMETRO TEXTURAL HOMOGENEIDADE; SMA - PARÂMETRO TEXTURAL SEGUNDO MOMENTO ANGULAR.

### 5.6.2 Análise de Regressão

Visando relacionar os dados de campo com a utilização conjunta dos dados oriundos de todas as imagens geradas, efetuou-se análises de regressão múltipla pelo método *Stepwise*, podendo-se assim, determinar a variável ou variáveis independentes que melhor explicassem a variação de cada variável dependente. Ressalta-se que, as variáveis densidade, área basal, biomassa, volume e diversidade foram consideradas variáveis dependentes e os valores digitais de reflectância, índice de vegetação, proporção e textura, correspondentes às unidades amostrais, consideradas variáveis independentes.

Procurou-se também nesta análise identificar quais estratos florestais poderiam ser melhor explicados pelas variáveis digitais. Portanto, para cada variável dependente procedeu-se uma análise geral, ou seja, incluindo todos os estratos

florestais (superior + intermediário + inferior), outra incluindo somente os estratos superior e intermediário (estrato superior + intermediário) e depois separadamente para cada estrato, conforme apresentado nas TABELA 18, 19, 20, 21 e 22.

TABELA 18- PARÂMETROS DOS MODELOS DE REGRESSÃO APLICADOS PARA A VARIÁVEL DENSIDADE DE INDIVÍDUOS (DEN) DE UMA FLORESTA PRIMÁRIA, MOJU-PARÁ

CONJUNTO DE DADOS	MODELO DE REGRESSÃO	R <sup>2</sup> ajustado	F	S <sub>xy</sub> (%)
Geral (sup+inter+inf)	1277,94 - 8117,39.REF4	0,16	4,59*	23,59
Estrato sup. + inter.	1571,1 - 11340,6.MED	0,21	6,18*	27,46
Estrato superior	488,84 - 3846,29.MED	0,18	5,15*	55,16
Estrato intermediário	-36,40-9008,88.REF4+11338,02S.MA	0,25	4,25*	28,49
Estrato inferior	-	-	-	-

\*VALOR SIGNIFICATIVO A 95% DE PROBABILIDADE.

A TABELA 18 e o ANEXO 3 apresentam os resultados obtidos pela regressão *stepwise* para a variável dependente densidade (DEN), onde observa-se que para o estrato inferior não foi possível estabelecer regressão e para os demais conjuntos de dados constata-se valores de coeficiente de determinação muito baixos ( $R^2$  entre 0,16 e 0,25), mostrando que nenhum modelo foi capaz de explicar satisfatoriamente a variação da densidade observada em campo, o que era de se esperar, já que todas as variáveis digitais testadas apresentaram baixas correlações com esta variável biométrica.

Na TABELA 19 e no ANEXO 4 são apresentados os resultados obtidos para a variável área basal (AB), onde observa-se semelhantes ajustes entre os conjuntos de dados geral, estrato superior mais intermediário, e estrato superior.

TABELA 19 - PARÂMETROS DOS MODELOS DE REGRESSÃO APLICADOS PARA A VARIÁVEL ÁREA BASAL (AB) DE UMA FLORESTA PRIMÁRIA, MOJU-PARÁ

CONJUNTO DE DADOS	MODELO DE REGRESSÃO	R <sup>2</sup> ajustado	F	S <sub>xy</sub> (%)
Geral (sup+inter+inf)	120,2 - 839,083.REF4	0,58	27,11**	14,25
Estrato sup. + inter.	120,985 - 859,56.REF4	0,59	28,55**	15,17
Estrato superior	82,994 - 636,641.MED	0,57	26,11**	19,76
Estrato intermediário	45,73 - 333,3.REF4 + 53691,68.VAR	0,41	7,50**	21,90
Estrato inferior	-	-	-	-

\*\* VALOR SIGNIFICATIVO A 99% DE PROBABILIDADE.

Embora, tenha-se verificado boas correlações entre esta variável dependente área basal e algumas variáveis digitais, percebe-se, que os modelos ajustados não mostram-se eficientes para explicar a variação da área basal observada, pois explicam somente 57 a 59% dessa variação (TABELA 19).

TABELA 20 - PARÂMETROS DOS MODELOS DE REGRESSÃO APLICADOS PARA A VARIÁVEL BIOMASSA (BIO) DE UMA FLORESTA PRIMÁRIA, MOJU-PARÁ

CONJUNTO DE DADOS	MODELO DE REGRESSÃO	R <sup>2</sup> ajustado	F	S <sub>xy</sub> (%)
Geral (sup+inter+inf)	1477,8 - 10699,6.REF4	0,78	68,85**	10,78
Estrato sup. + inter.	1479,4 - 10781,2.REF4	0,76	62,98**	11,69
Estrato superior	1296,5 - 9801,2.MED - 15905,7.REF3	0,82	43,12**	13,44
Estrato intermediário	354,6 - 508,8.VEG + 480309,7.VAR	0,45	8,68**	21,00
Estrato inferior	-	-	-	-

\*\* VALOR SIGNIFICATIVO A 99% DE PROBABILIDADE.

De modo geral bons ajustes foram verificados para os dados de biomassa (BIO) referente ao geral (todos os estratos), estrato superior mais intermediário, e estrato superior, com explicação de mais de 75% da variação desta variável, conforme mostra a TABELA 20 e ANEXO 5.

Usando regressão linear simples ARAÚJO (1999) constatou que os dados de biomassa em uma floresta primária foram melhor explicados através da reflectância da



banda 4, com  $R^2 = 0,78$  e  $F = 61,4$ , valores estes muito semelhantes aos encontrados nesta análise, quando considerou-se os dados gerais de biomassa ( $R^2 = 0,78$  e  $F=68,85$ ), onde a regressão *stepwise* mostrou que a variável REF4 também foi a que melhor explicou a variação da biomassa observada.

O maior coeficiente de determinação foi observado para o ajuste referente ao conjunto de dados do estrato superior ( $R^2 = 0,82$ ), que como evidenciado no item anterior foi o que apresentou maiores correlações entre as variáveis digitais, pois é o estrato que mais contribui na resposta espectral da floresta.

A regressão *stepwise* para este conjunto de dados mostrou que a variável textural média (MED) apresentou maior sensibilidade à variação de biomassa e que a introdução do atributo espectral reflectância na banda 3 (REF3) pôde adicionar mais informações ao modelo, pois conforme apresentado no ANEXO 5, seu coeficiente é altamente significativo estatisticamente. Percebe-se ainda, que nenhuma outra variável que apresentou alta correlação com a biomassa foi introduzida no modelo, pois trata-se de variáveis que também são altamente correlacionadas entre si, o que torna a informação redundante, não trazendo portanto, ganho de informação.

Embora tenha-se verificado maior coeficiente de determinação para os dados referentes ao estrato superior, a aplicação do teste de comparação entre os coeficientes de correlação mostrou não haver diferença significativa ( $\alpha = 0,05$ ) entre os modelos ajustados para o geral, estrato superior mais intermediário, e estrato superior.

Foi efetuada também a análise de resíduos dos modelos e os mesmos mostraram-se normalmente distribuídos, com média zero e variância constante (ANEXO 5).

Examinando-se a FIGURA 26 e as tabelas de resíduos (ANEXO 5), percebe-se que 35% dos pontos amostrais, nos três modelos, ficaram fora do limite de confiabilidade (95%) apresentando sub ou superestimação dos valores estimados de biomassa em relação aos observados, denotando talvez a insuficiência do número de unidades amostrais levantadas em campo.

FIGURA 26 – VALORES OBSERVADOS E VALORES ESTIMADOS DE BIOMASSA: (a) DADOS GERAIS, (b) ESTRATO SUPERIOR + INTERMEDIÁRIO, (c) ESTRATO SUPERIOR

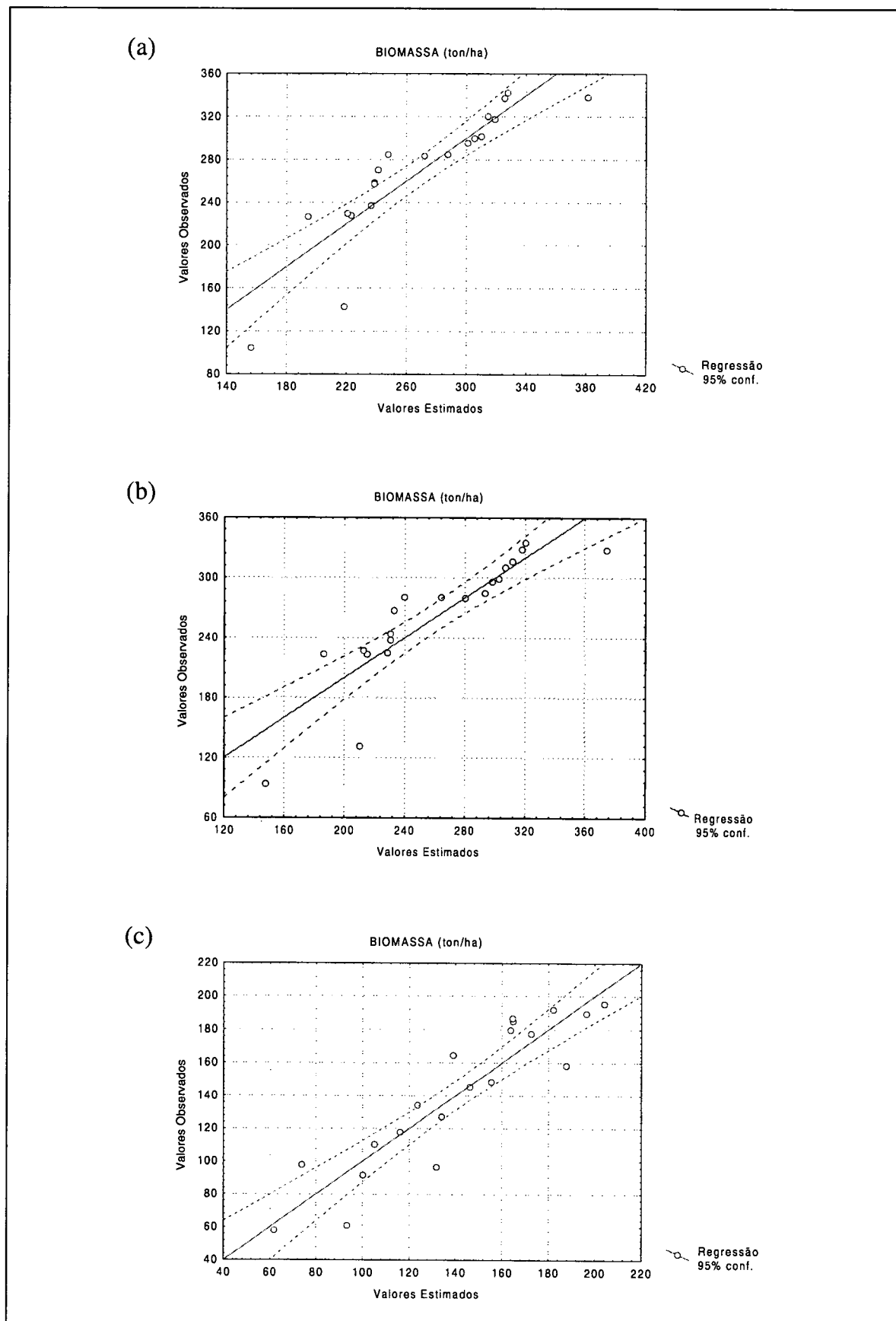


TABELA 21 - PARÂMETROS DOS MODELOS DE REGRESSÃO APLICADOS PARA A VARIÁVEL VOLUME (VOL) DE UMA FLORESTA PRIMÁRIA, MOJU-PARÁ.

CONJUNTO DE DADOS	MODELO DE REGRESSÃO	R <sup>2</sup> ajustado	F	S <sub>xy</sub> (%)
Geral (sup+inter+inf)	1958,6 - 14222,9.REF4	0,80	75,40**	10,48
Estrato sup + inter	1960,9 - 14323,9.REF4	0,78	69,01**	11,32
Estrato superior	1743,5-13187,3.MED - 21226,7.REF3	0,83	46,97**	12,90
Estrato intermediário	451,9 - 649,3.VEG + 616909,7 .VAR	0,45	8,86**	20,89
Estrato inferior	-	-	-	-

\*\* VALOR SIGNIFICATIVO A 99 % DE PROBABILIDADE.

Os resultados obtidos para a variável volume (VOL) são semelhantes aos encontrados para biomassa (BIO), o que já era esperado uma vez que estas duas variáveis apresentam-se inteiramente correlacionadas ( $r=1$ , TABELA 15).

Assim sendo, de forma similar ao ocorrido com a biomassa, bons ajustes foram verificados para os dados de volume (VOL) referente ao geral (todos os estratos), estrato superior mais intermediário, e estrato superior, com explicação em torno de 80% da variação desta variável, conforme mostra a TABELA 21 e ANEXO 6.

Quando considerou-se os dados gerais e os referentes ao estrato superior mais intermediário, a regressão *stepwise* mostrou que a variável REF4 também foi a que apresentou maior sensibilidade à variação de volume, obtendo-se ajustes com coeficientes de determinação de 0,80 e 0,78 respectivamente.

Para os dados relacionados ao estrato superior obteve-se o melhor ajuste ( $R^2 = 0,83$ ) através da variável textural média (MED) e variável espectral reflectância na banda 3 (REF3).

A aplicação do teste de comparação entre os coeficientes de correlação mostrou não haver diferença significativa ( $\alpha = 0,05$ ) entre os modelos ajustados para o geral, estrato superior mais intermediário, e estrato superior.

A análise de resíduos do modelo final mostrou que estes estão normalmente distribuídos, com média zero e variância constante (ANEXO 6).

Analisando-se a FIGURA 27 e as tabelas de resíduos (ANEXO 6), percebe-se a presença de pontos fora do limite de confiabilidade (95%), os quais apresentam sub ou superestimação dos valores estimados de volume em relação aos observados.

FIGURA 27 – VALORES OBSERVADOS E VALORES ESTIMADOS DE VOLUME: (a) DADOS GERAIS, (b) ESTRATO SUPERIOR + INTERMEDIÁRIO, (c) ESTRATO SUPERIOR

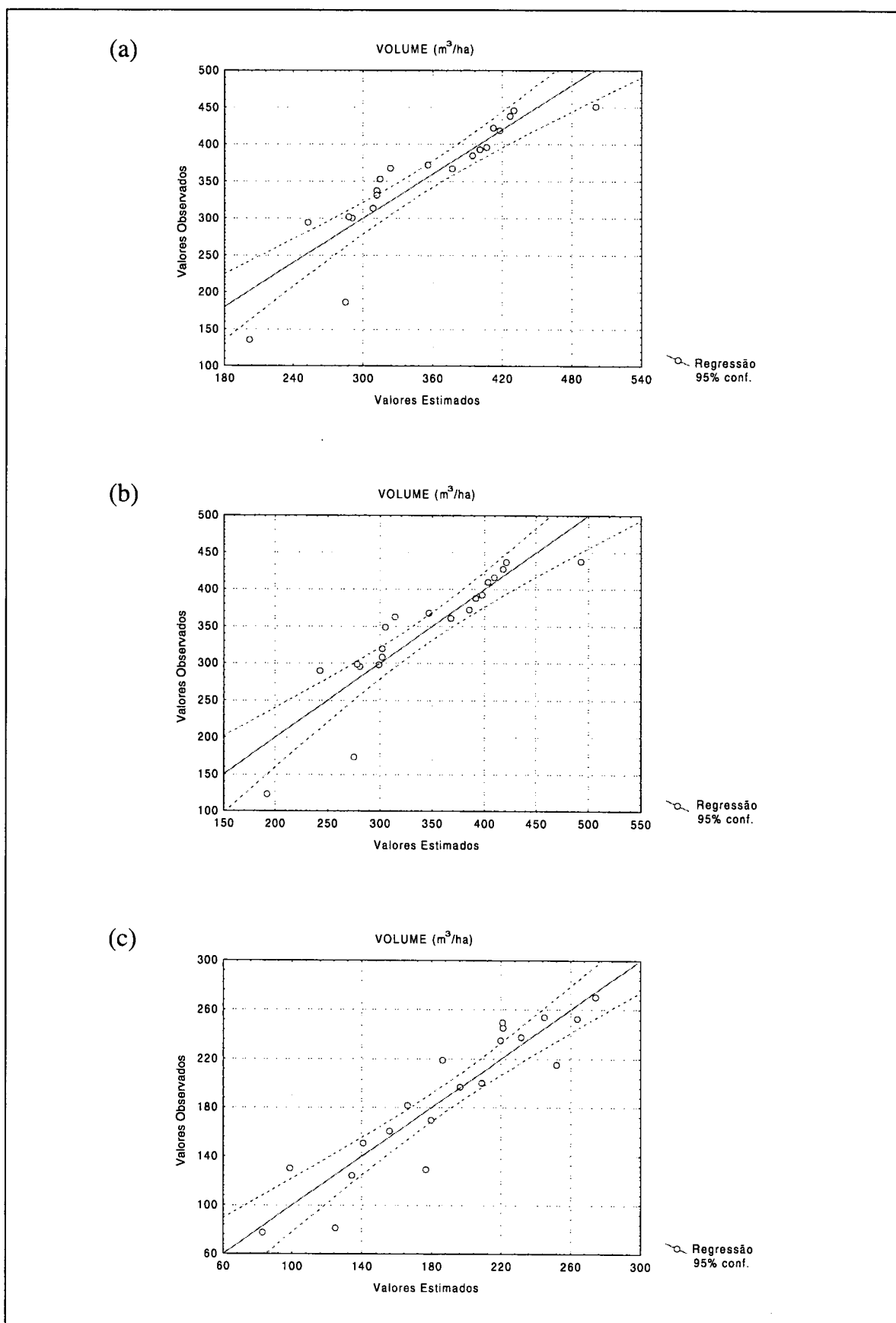


TABELA 22 - PARÂMETROS DOS MODELOS DE REGRESSÃO APLICADOS PARA A VARIÁVEL DIVERSIDADE (DIV) DE UMA FLORESTA PRIMÁRIA, MOJUPARÁ

CONJUNTO DE DADOS	MODELO DE REGRESSÃO	R <sup>2</sup> ajustado	F	S <sub>xy</sub> (%)
Geral (sup+inter+inf)	1958,6 - 14222,9.REF4	0,30	9,24**	3,46
Estrato sup + inter	-	-	-	-
Estrato superior	1,868 - 25,465.MED +6,879.SAVI	0,57	13,45**	4,84
Estrato intermediário	-	-	-	-
Estrato inferior	-	-	-	-

\*\* VALOR SIGNIFICATIVO A 99 % DE PROBABILIDADE.

Para a explicação da variável diversidade (DIV) o melhor ajuste foi observado para o conjunto de dados representativo do estrato superior através das variáveis MED e SAVI, apresentando os maiores valores de R<sup>2</sup> e F. Porém, este ajuste foi considerado ineficiente, uma vez que somente pôde explicar 57% da variação da diversidade de espécies (TABELA 22 e ANEXO 7).

Não houve regressão para os dados referentes aos estratos superior mais intermediário, estrato intermediário, e inferior. Assim sendo, nenhum modelo foi capaz de explicar satisfatoriamente a variação da diversidade observada.

## 5.7 VALORES ESTIMADOS VERSUS VALORES OBSERVADOS

Com a aplicação dos modelos ajustados houve diferença entre os valores observados e estimados, sendo que para alguns pontos essa diferença foi em maior proporção, ocasionando sub ou superestimação de valores, o que pode ser devido a insuficiência do número de unidades amostrais estabelecidas para o levantamento de campo. A TABELA 23 mostra uma comparação entre os valores observados e estimados para as variáveis biomassa e volume em relação aos dados gerais (todos os estratos).

TABELA 23 – VALORES OBSERVADOS E ESTIMADOS DE BIOMASSA E VOLUME PARA AS 20 UNIDADES DE AMOSTRA ( $DAP \geq 10$  cm) EM UMA FLORESTA PRIMÁRIA, MOJU, PARÁ

UNIDADE DE AMOSTRA	BIOMASSA (ton/ha)		VOLUME (m <sup>3</sup> /ha)	
	Observado	Estimado	Observado	Estimado
1	295,27	301,09	384,93	394,42
2	338,30	381,25	451,00	500,98
3	320,59	314,44	421,98	412,17
4	283,24	272,13	372,02	355,94
5	284,71	247,64	367,73	323,38
6	237,17	236,50	313,30	308,57
7	227,84	223,15	300,29	290,82
8	270,41	240,97	353,14	314,51
9	226,53	194,36	294,15	252,55
10	143,02	218,65	186,52	284,84
11	301,57	310,02	395,73	406,30
12	258,44	238,76	337,14	311,58
13	257,25	238,76	331,50	311,58
14	229,76	220,89	301,91	287,83
15	104,24	156,37	135,28	202,06
16	342,38	327,78	446,01	429,91
17	299,95	305,53	393,06	400,33
18	337,06	325,54	438,41	426,92
19	285,08	287,77	367,16	376,72
20	317,71	318,90	418,24	418,10

Verifica-se através da TABELA 23 que a amplitude dos valores de biomassa observados para os dados gerais (todos os estratos) que anteriormente estava entre 104,24 e 342,38 ton/ha, após a aplicação do modelo passou a ficar entre 156,37 e 381,25 ton/ha. Os valores de volume que encontravam-se entre 135,28 e 450,99 m<sup>3</sup>/ha passaram a assumir intervalo de 202,06 e 500,98 m<sup>3</sup>/ha.

Constata-se também através da TABELA 23, que as unidades amostrais 2, 9, 10 e 15 foram as que apresentaram maiores distorções em relação aos valores observados em campo. A unidade amostral 2, apresentou superestimativas de biomassa em 43 ton/ha (13%) e volume em 50 m<sup>3</sup>/ha (11%). Já na unidade 9, a aplicação do modelo promoveu um decréscimo de 14% nos valores de biomassa e volume. Na unidade 10 verifica-se um acréscimo de 53% nos valores de biomassa e volume. Na unidade 15 este acréscimo está na ordem de 50% para os valores de biomassa e volume.

Uma outra comparação possível de ser efetuada é com relação a análise de agrupamento das unidades amostrais, onde através da FIGURA 28, verifica-se que a parcela 10, antes pertencente ao grupo 3, caracterizado pelos mais baixos valores de biomassa e volume, passou para o grupo 2 (valores médios de biomassa e volume) e o inverso acontecendo com a unidade 9.

FIGURA 28 – COMPARAÇÃO ENTRE AS ANÁLISES DE AGRUPAMENTO DOS VALORES OBSERVADOS E ESTIMADOS APÓS A APLICAÇÃO DOS MODELOS DE REGRESSÃO AJUSTADOS PARA OS DADOS GERAIS: (a) – VALORES DE BIOMASSA OBSERVADOS; (b) - VALORES DE BIOMASSA ESTIMADOS; (c) – VALORES DE VOLUME OBSERVADOS; (d) – VALORES DE VOLUME ESTIMADOS

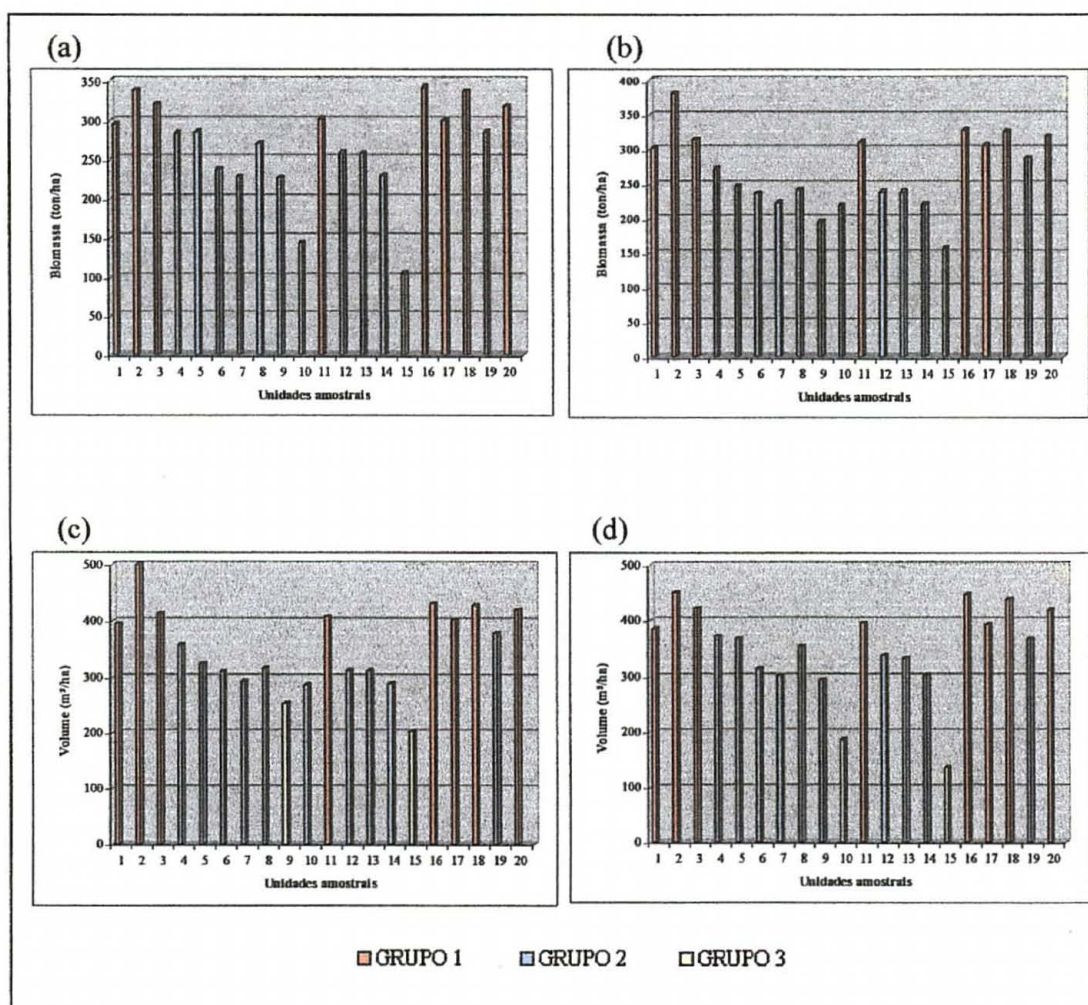


TABELA 24 - MÉDIA ( $\bar{x}$ ) E DESVIO PADRÃO ( $s$ ) DE BIOMASSA E VOLUME DOS GRUPOS GERADOS PELA ANÁLISE DE AGRUPAMENTO PARA OS VALORES OBSERVADOS E ESTIMADOS PELOS MODELOS DE REGRESSÃO AJUSTADOS PARA OS DADOS GERAIS UMA ÁREA DE FLORESTA PRIMÁRIA, MOJU, PARÁ

GRUPOS	ESTATÍSTICA	BIOMASSA (ton/ha)		VOLUME (m <sup>3</sup> /ha)	
		Observado	Estimado	Observado	Estimado
Grupo 1	$\bar{x}$	319,10	323,07	418,67	423,64
	$s$	18,82	25,26	25,39	33,58
Grupo 2	$\bar{x}$	256,04	242,52	333,83	316,58
	$s$	24,34	22,19	30,27	29,49
Grupo 3	$\bar{x}$	123,63	175,37	160,89	227,30
	$s$	27,42	26,86	36,23	35,70

A TABELA 24 mostra que os três grupos formados para os dados observados caracterizavam-se por valores médios de biomassa de 319,10; 256,04 e 123,63 ton/ha e valores médios de volume de 418,67; 333,83 e 160,90 m<sup>3</sup>/ha. Para os valores estimados os grupos formados passaram a apresentar valores médio de biomassa de 323,07; 242,52 e 175,37 ton/ha e valores médios de volume de 423,64; 316,58 e 227,30 m<sup>3</sup>/ha. Assim sendo, verifica-se que a maior distorção ocorreu no grupo 3, com superestimativa na ordem de 40%, tanto para os valores médios de biomassa, como de volume. Distorções muito pequenas foram observadas nos valores médios de biomassa e volume dos outros grupos. Identificou-se superestimativa de 1% nos valores médios do grupo 1 e subestimativa de 5% do grupo 2, mostrando que os modelos ajustados aplicam-se bem para esses dois grupos.



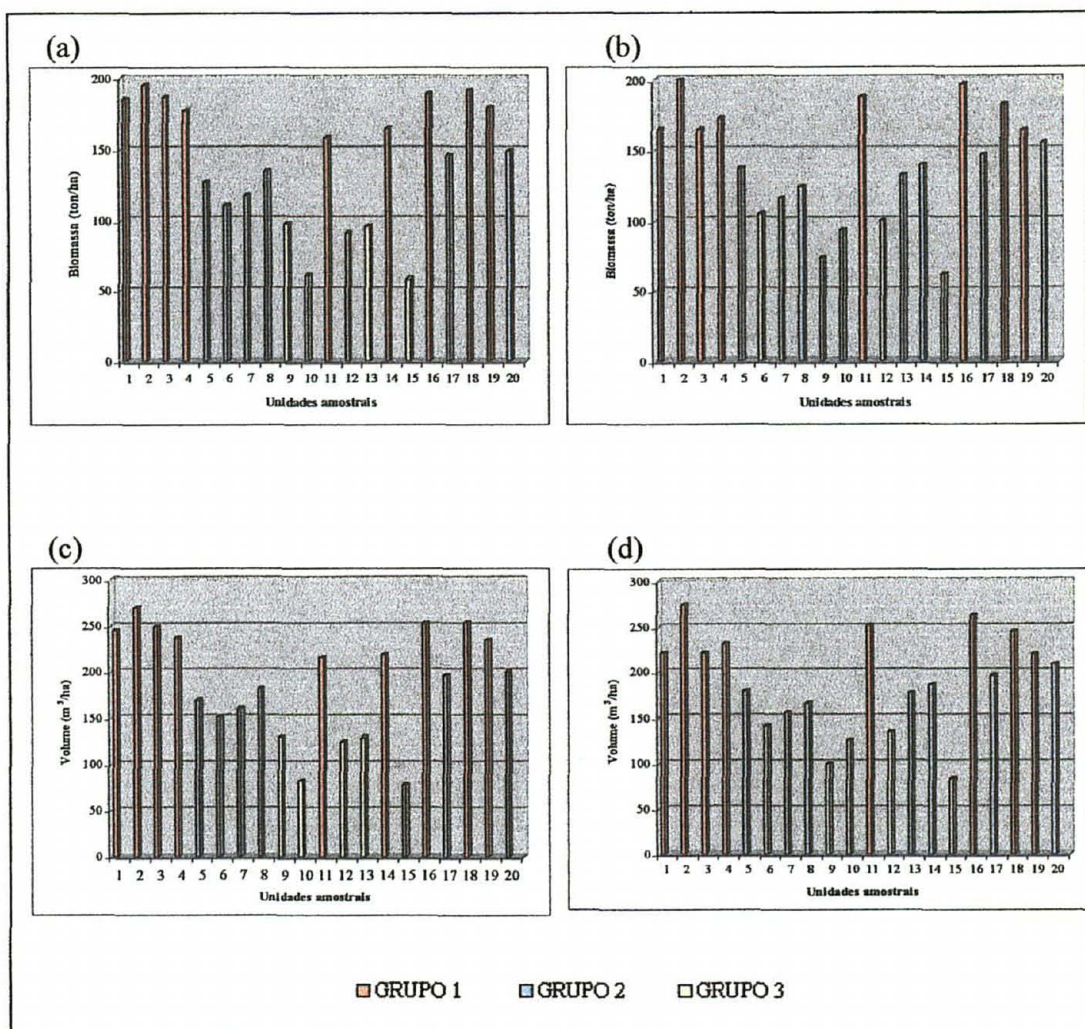
TABELA 25 – VALORES OBSERVADOS E ESTIMADOS DE BIOMASSA E VOLUME DO ESTRATO SUPERIOR DA FLORESTA PARA AS 20 UNIDADES DE AMOSTRA (DAP $\geq$ 10 cm) EM UMA FLORESTA PRIMÁRIA, MOJU, PARÁ

UNIDADE DE AMOSTRA	BIOMASSA (ton/ha)		VOLUME (m <sup>3</sup> /ha)	
	Observado	Estimado	Observado	Estimado
1	185,06	164,80	245,31	221,24
2	195,48	204,24	270,20	274,31
3	186,72	164,65	249,49	220,89
4	177,48	172,65	237,70	231,68
5	127,29	137,05	169,53	179,88
6	110,27	105,10	150,63	140,96
7	117,77	116,17	160,51	155,76
8	134,34	123,62	181,56	166,03
9	97,70	73,76	130,09	98,77
10	60,98	93,29	81,52	125,04
11	158,53	187,74	215,43	252,06
12	91,48	100,25	124,13	134,32
13	96,39	131,84	129,04	176,74
14	164,45	139,09	218,96	186,50
15	58,16	61,74	77,39	82,94
16	189,59	196,50	252,71	263,79
17	145,30	146,24	196,74	196,24
18	191,93	182,15	253,92	244,80
19	179,70	163,72	235,22	219,74
20	148,32	155,32	200,43	208,82

Comparando os valores observados e estimados das variáveis biomassa e volume para o estrato superior da floresta, observa-se a aplicação do modelo de regressão promoveu uma pequena variação na amplitude desses valores (TABELA 25 e FIGURA 29). Os valores de biomassa que encontravam-se entre 58,16 e 195,48 ton/ha, passaram a assumir valores entre 61,74 e 204,24 ton/ha, e os valores de volume que estavam entre 77,39 e 270,20 m<sup>3</sup>/ha assumiram um intervalo de 82,94 e 274,31 m<sup>3</sup>/ha.

As unidades amostrais 9, 10 e 13 apresentaram maiores distorções dos valores estimados em relação àqueles observados em campo (TABELA 25). A unidade amostral 9, apresentou subestimativas de biomassa de 24 ton/ha (24%) e volume em 31m<sup>3</sup>/ha (24%). Já na unidade 10, a aplicação do modelo promoveu um acréscimo de 53% nos valores de biomassa e volume. Na unidade 13 este acréscimo ficou na ordem de 37% para os valores de biomassa e volume.

FIGURA 29 – COMPARAÇÃO ENTRE A ANÁLISE DE AGRUPAMENTO DOS VALORES OBSERVADOS E ESTIMADOS APÓS A APLICAÇÃO DOS MODELOS DE REGRESSÃO AJUSTADOS PARA O ESTRATO SUPERIOR DA FLORESTA: (a) – VALORES DE BIOMASSA OBSERVADOS; (b) – VALORES DE BIOMASSA ESTIMADOS; (c) – VALORES DE VOLUME OBSERVADOS; (d) – VALORES DE VOLUME ESTIMADOS



Com relação a análise de agrupamento das unidades amostrais (FIGURA 29), verifica-se que a parcela 6, anteriormente pertencente ao grupo 2, passou para o grupo 3 após a aplicação do modelo de regressão; o inverso aconteceu com a unidade 13. A unidade 14 que pertencia ao grupo 1, caracterizada por altos valores de biomassa e volume, passou para o grupo 2.

TABELA 26 - MÉDIA ( $\bar{x}$ ) E DESVIO PADRÃO ( $s$ ) DAS VARIÁVEIS BIOMASSA E VOLUME, DO ESTRATO SUPERIOR DA FLORESTA, DOS GRUPOS GERADOS PELA ANÁLISE DE AGRUPAMENTO PARA OS VALORES OBSERVADOS E ESTIMADOS PELOS MODELOS DE REGRESSÃO, AJUSTADOS PARA UMA ÁREA DE FLORESTA PRIMÁRIA, MOJU, PARÁ

GRUPOS	ESTATÍSTICA	BIOMASSA (ton/ha)		VOLUME (m <sup>3</sup> /ha)	
		Observado	Estimado	Observado	Estimado
Grupo 1	$\bar{x}$	180,99	179,56	242,10	241,06
	$s$	12,47	15,62	17,39	21,04
Grupo 2	$\bar{x}$	130,54	135,62	176,56	181,42
	$s$	15,05	13,24	19,91	17,87
Grupo 3	$\bar{x}$	80,94	86,83	108,43	116,41
	$s$	19,67	18,41	26,59	24,64

Os três grupos formados para os dados observados, conforme TABELA 26, apresentavam valores médios de biomassa de 80,94; 130,54 e 180,99 ton/ha e para os dados estimados os grupos formados passaram a apresentar valores médios de 86,83; 135,62 e 179,56 ton/ha. Para a variável volume, os grupos caracterizam-se com valores médios observados de 108,43; 176,56 e 242,10 m<sup>3</sup>/ha e valores médios estimados de 116,41; 181,42 e 241,06 m<sup>3</sup>/ha.

Desta forma, percebe-se distorções muito pequenas nos valores médios de biomassa e volume dos três grupos. A identificação de subestimativas menores que 1% nos valores do grupo 1, superestimativas em torno de 3% no grupo 2 e 7% no grupo 3, indica que os modelos ajustados aplicam-se bem para os três grupos.

## 5.8 MAPEAMENTO DA VEGETAÇÃO

Neste estudo se propunha inicialmente, apresentar o mapeamento da floresta primária em função da aplicação dos modelos ajustados para todas as variáveis biométricas estudadas, porém em virtude da obtenção de ajustes satisfatórios somente

para as variáveis biomassa e volume, o mapeamento foi efetuado apenas para estas duas variáveis. Esperava-se também aplicar os resultados para toda a área de ocorrência de floresta primária abrangida na área de estudo, porém em virtude de uma possível insuficiência amostral, procedeu-se o mapeamento somente na área da Fazenda Juriti, local de realização do inventário.

A aplicação de cada modelo gerou uma nova imagem, onde cada pixel passou a representar a quantidade estimada da variável em questão. Para o mapeamento procurou-se fazer a estratificação da vegetação em intervalo de valores relacionado às características dos grupos gerados na análise dos dados estimados.

Mapas de biomassa e volume da floresta primária foram produzidos, considerando todos os estratos florestais, e mapas que representam a quantidade de biomassa e volume no estrato superior da floresta, evidenciados nas FIGURA 30, 31, 32 e 33, onde os intervalos de classe foram definidos em função da amplitude de valores observada nos grupos gerados pelas análises de agrupamento dos dados estimados (FIGURAS 28 e 29).

Verifica-se que os mapas gerados para as variáveis biomassa e volume apresentam-se similares, pois os grupos gerados para essas variáveis, através das análises de agrupamento, apresentaram a mesma constituição em relação às unidades de amostra, o que é atribuído à alta correlação linear verificada entre essas duas variáveis.

Visando reduzir a quantidade de pontos isolados observados nas imagens classificadas (FIGURA 30, 31, 32 e 33), e conseqüentemente promover uma maior uniformidade nas classes de biomassa e volume definidas, aplicou-se um filtro de moda, cujo resultados são observados nas FIGURA 34, 35, 36 e 37.

Através das FIGURA 34, 35, 36 e 37 é possível confrontar os resultados das classificações obtidas a partir da aplicação dos modelos de regressão, com os valores médios de biomassa e volume observados para as unidades de amostra levantadas em campo. Assim sendo, em relação aos mapas de biomassa e volume da

floresta primária (FIGURA 34 e 36), constata-se que as unidades de amostra 9 e 10 foram erroneamente classificadas, sendo que a unidade de amostra 9, atribuída às classes representadas em amarelo (abaixo de 190 ton/ha e abaixo de 250 m<sup>3</sup>/ha para biomassa e volume, respectivamente) deveria pertencer às classes apresentadas em rosa (195 a 290 ton/ha de biomassa, e 250 a 380 m<sup>3</sup>/ha de volume), pois apresentou valores médios observados de 97,70 ton/ha de biomassa e 130,09 m<sup>3</sup>/ha de volume (TABELA 23). O contrário foi observado para a unidade 10, que foi atribuída à classe em rosa, quando deveria pertencer à classe representada em amarelo, uma vez que esta apresentou valores observados de 60,98 ton/ha de biomassa, e 81,52 m<sup>3</sup>/ha de volume (TABELA 23).

Em relação aos mapas de biomassa e volume do estrato superior da floresta (FIGURA 35 e 37), verifica-se erros de classificação para as unidades de amostra 6, 12 e 14. A unidade de amostra 6, atribuída às classes representadas em amarelo (abaixo de 100 ton/ha de biomassa, e abaixo de 140 m<sup>3</sup>/ha de volume), deveria pertencer às classes apresentadas em rosa (100 a 150 ton/ha de biomassa, e 140 a 200 m<sup>3</sup>/ha de volume), uma vez que foram observados valores médios de biomassa de 110,27 ton/ha e 150,63 m<sup>3</sup>/ha de volume para essa unidade de amostra (TABELA 25). O contrário foi observado para a unidade 13, que foi representada na classe em rosa, quando deveria pertencer à classe representada em amarelo, uma vez que esta apresentou valores observados de 96,39 ton/ha de biomassa, e 129,04 m<sup>3</sup>/ha de volume (TABELA 25).

A unidade de amostra 14, atribuída às classes representadas em rosa (100 a 150 ton/ha de biomassa, e 140 a 200 m<sup>3</sup>/ha de volume), deveria pertencer às classes apresentadas em verde (acima de 150 ton/ha de biomassa, e acima de 200 m<sup>3</sup>/ha de volume), pois essa unidade apresentou valores médios observados de 164,45 ton/ha de biomassa e 218,96 m<sup>3</sup>/ha (TABELA 25).

De modo geral, os resultados apresentaram-se bastante satisfatórios, uma vez que, das vinte unidades de amostra, observou-se erros de classificação em apenas duas

unidades de amostra para a floresta primária e três para o estrato superior da floresta, tanto em relação a variável biomassa quanto para a variável volume. Deve-se ressaltar que esses erros não são atribuídos ao processo de classificação, mas sim, aos erros de estimativas decorrentes dos ajustes dos modelos de regressão, uma vez que os intervalos de classe foram definidos em função da amplitude de valores verificada nos grupos gerados pelas análises de agrupamento dos dados estimados. É possível que tal problema pudesse ser minimizado através da geração de modelos para cada grupo de unidades de amostra, o que não foi possível de ser efetuado neste trabalho, dado o pequeno número de unidades amostrais representativas de cada grupo.

Os mapas gerados neste trabalho fornecem informações valiosas, as quais, podem subsidiar ações ligadas ao monitoramento e manejo florestal, propiciando tomadas de decisão com bases ecológicas, tomando-se como fundamento a análise estrutural da vegetação para o aproveitamento ordenado e permanente da floresta.

Esses mapas apresentam-se úteis na avaliação de áreas de potencialidades madeireiras, bem como, ao planejamento de inventários florestais, melhorando sobretudo, a eficiência da alocação de amostras, o que resulta na redução dos custos do trabalho.



FIGURA 30 – MAPA DE BIOMASSA DE UMA FLORESTA PRIMÁRIA, MUNICÍPIO DE MOJU – PARÁ, OBTIDO A PARTIR DE IMAGEM SINTÉTICA GERADA PELA APLICAÇÃO DO MODELO "BIO = 1477,8 - 10699,6 REF4"

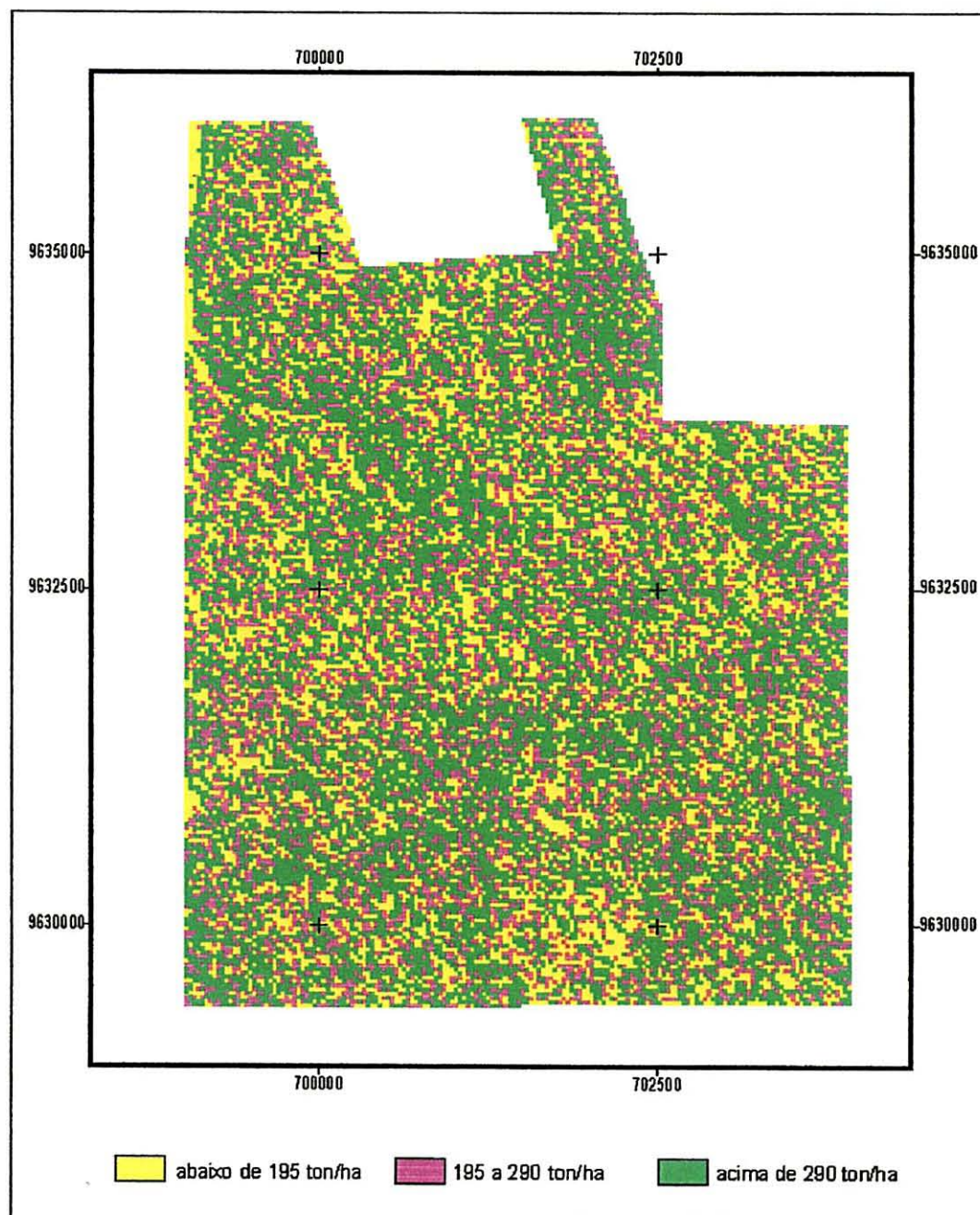


FIGURA 31 – MAPA DE BIOMASSA DO ESTRATO SUPERIOR DE UMA FLORESTA PRIMÁRIA, MUNICÍPIO DE MOJU – PARÁ, OBTIDO A PARTIR DE IMAGEM SINTÉTICA GERADA PELA APLICAÇÃO DO MODELO "BIO = 1296,5 - 9801,2 MED -15905,7 REF3"

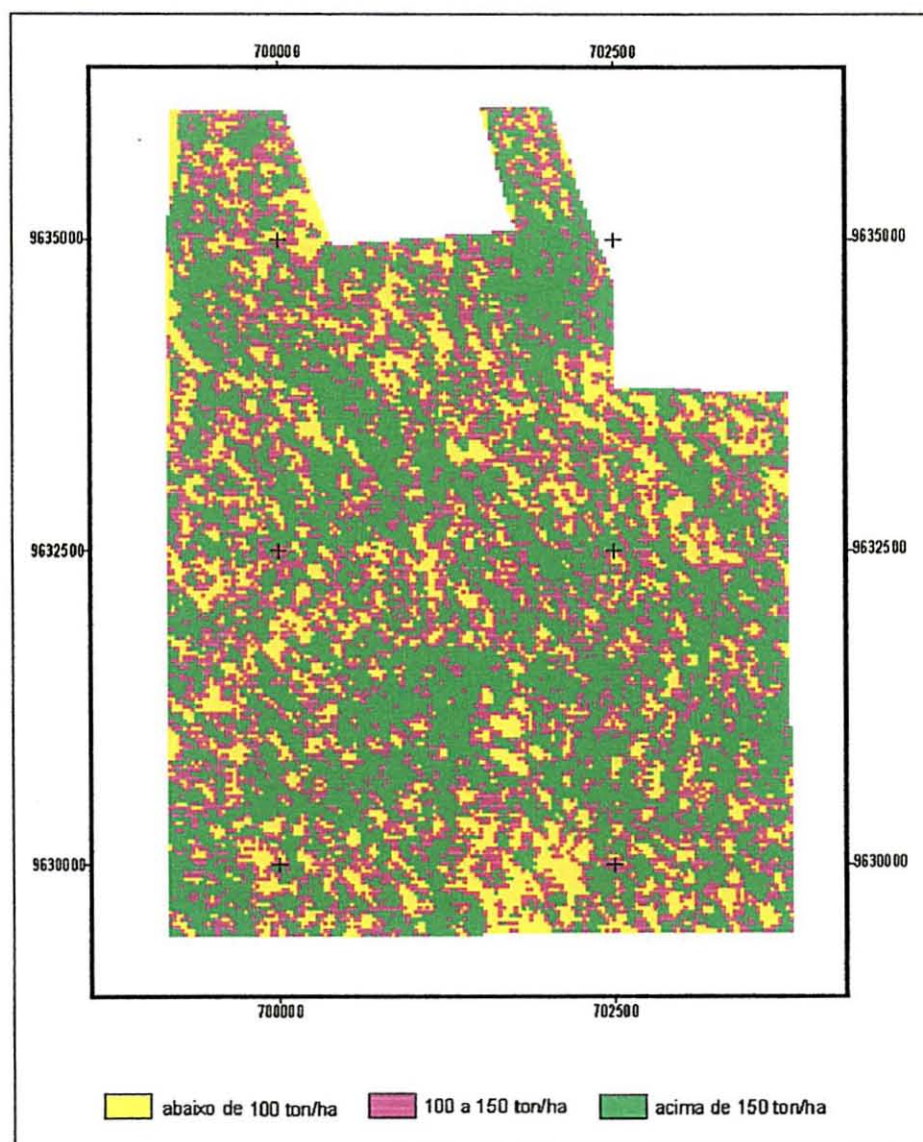




FIGURA 32 – MAPA DE VOLUME DE UMA FLORESTA PRIMÁRIA, MUNICÍPIO DE MOJU – PARÁ, OBTIDO A PARTIR DE IMAGEM SINTÉTICA GERADA PELA APLICAÇÃO DO MODELO " $V = 1958,6 - 14222,9 \text{ REF4}$ "

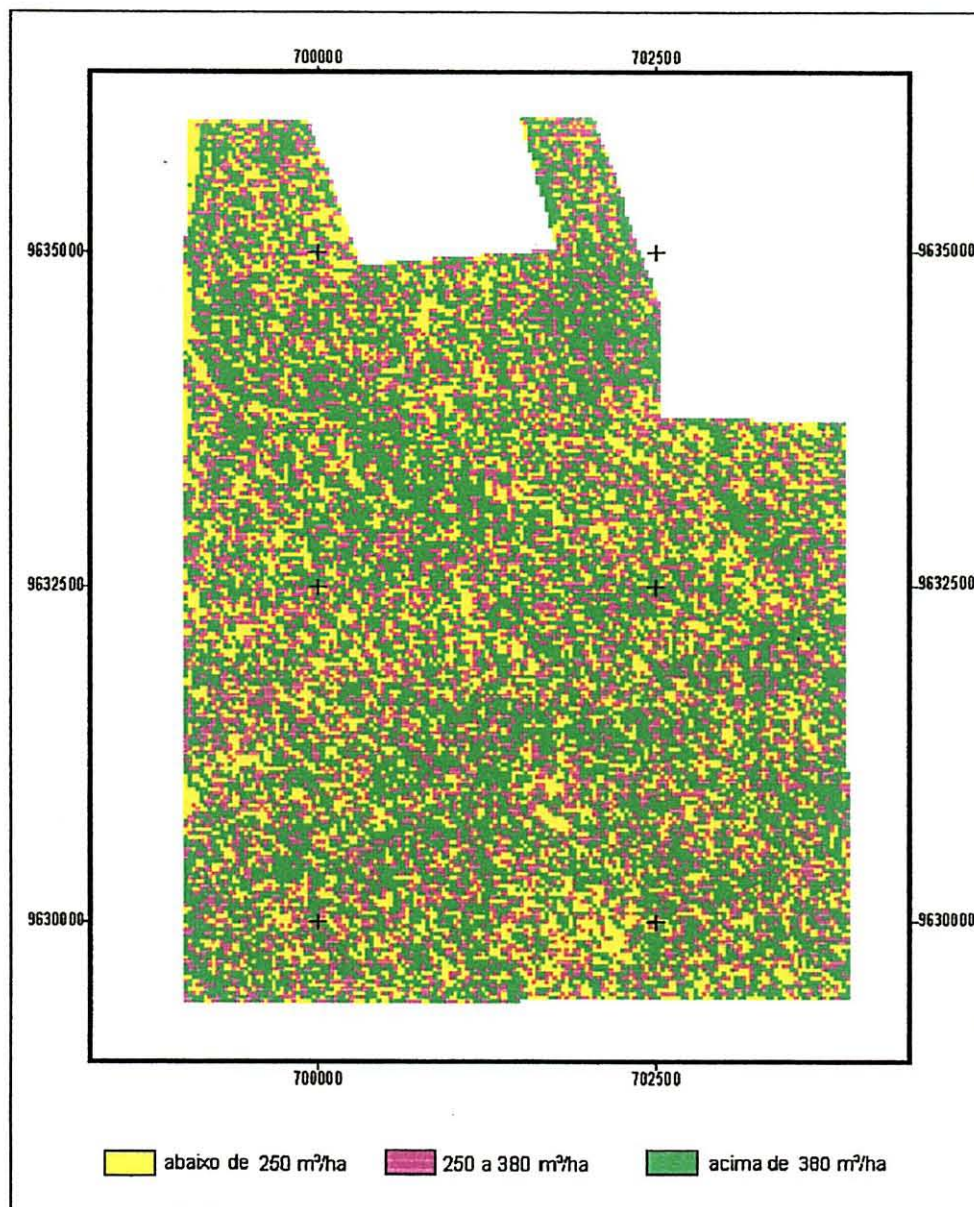


FIGURA 33 – MAPA DE VOLUME DO ESTRATO SUPERIOR DE UMA FLORESTA PRIMÁRIA, MUNICÍPIO DE MOJU – PARÁ, OBTIDO A PARTIR DE IMAGEM SINTÉTICA GERADA PELA APLICAÇÃO DO MODELO "V = 1743,5 - 13187,3 MED - 21226,7 REF3"

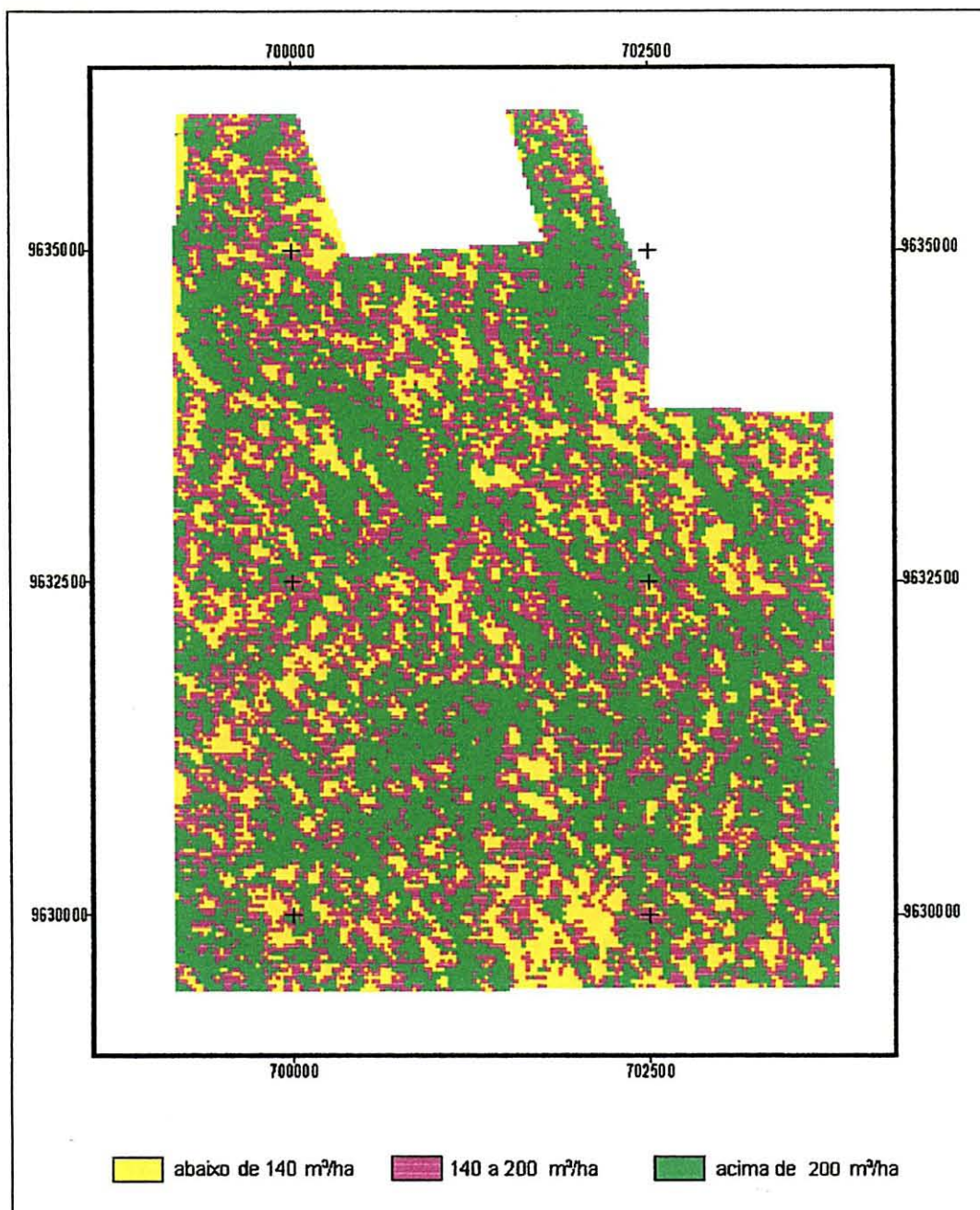




FIGURA 34 - MAPA DE BIOMASSA DE UMA FLORESTA PRIMÁRIA, MUNICÍPIO DE MOJU - PARÁ, OBTIDO A PARTIR DE IMAGEM SINTÉTICA GERADA PELA APLICAÇÃO DO MODELO "BIO = 1477,8 - 10699,6 REF4", APÓS APLICAÇÃO DE UM FILTRO DE MODA

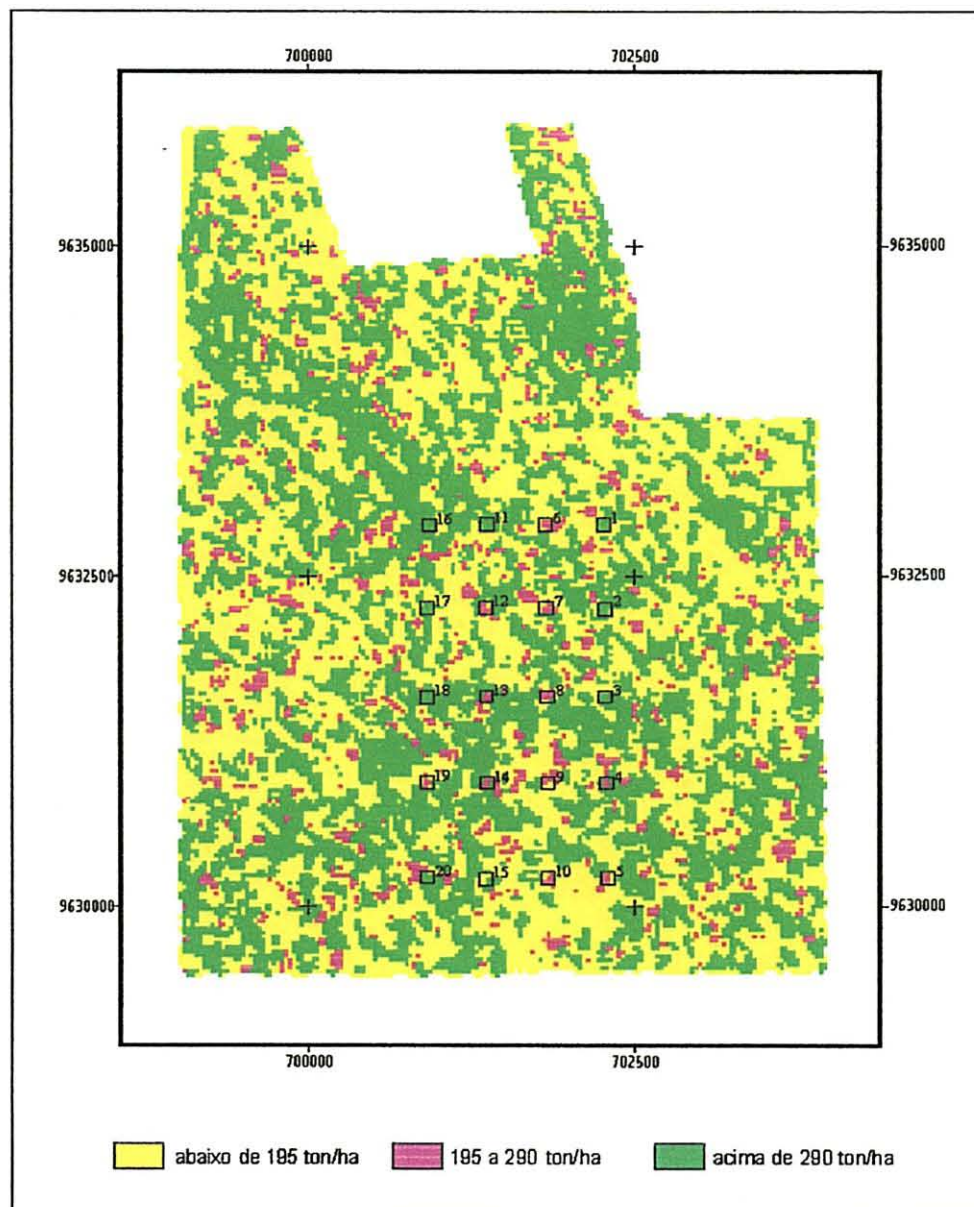


FIGURA 35 - MAPA DE BIOMASSA DO ESTRATO SUPERIOR DE UMA FLORESTA PRIMÁRIA, MUNICÍPIO DE MOJU - PARÁ, OBTIDO A PARTIR DE IMAGEM SINTÉTICA GERADA PELA APLICAÇÃO DO MODELO "BIO = 1296,5 - 9801,2 MED - 15905,7 REF3", APÓS APLICAÇÃO DE UM FILTRO DE MODA

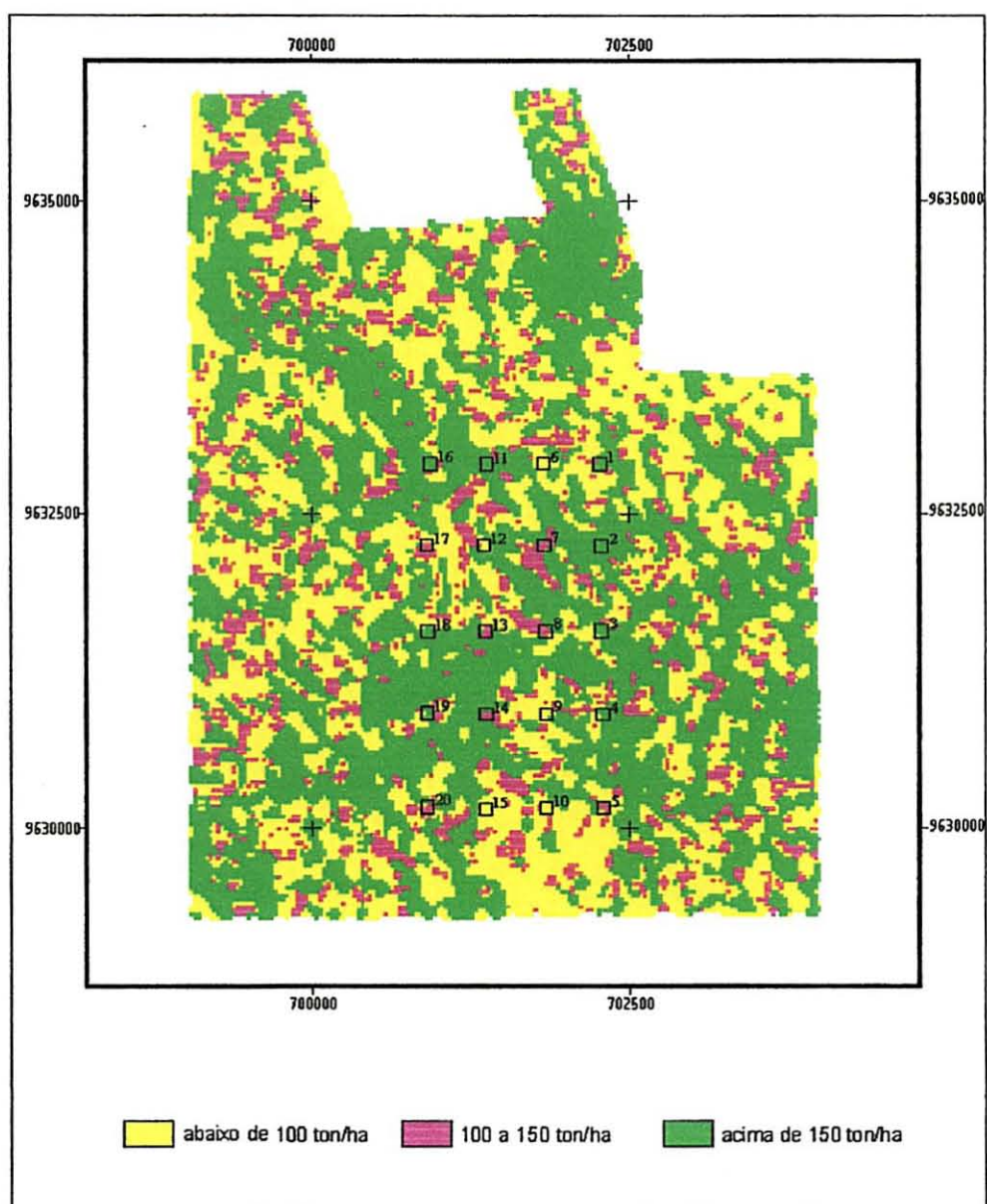


FIGURA 36 - MAPA DE VOLUME DE UMA FLORESTA PRIMÁRIA, MUNICÍPIO DE MOJU – PARÁ, OBTIDO A PARTIR DE IMAGEM SINTÉTICA GERADA PELA APLICAÇÃO DO MODELO "V = 1958,6 - 14222,9 REF4", APÓS APLICAÇÃO DE UM FILTRO DE MODA

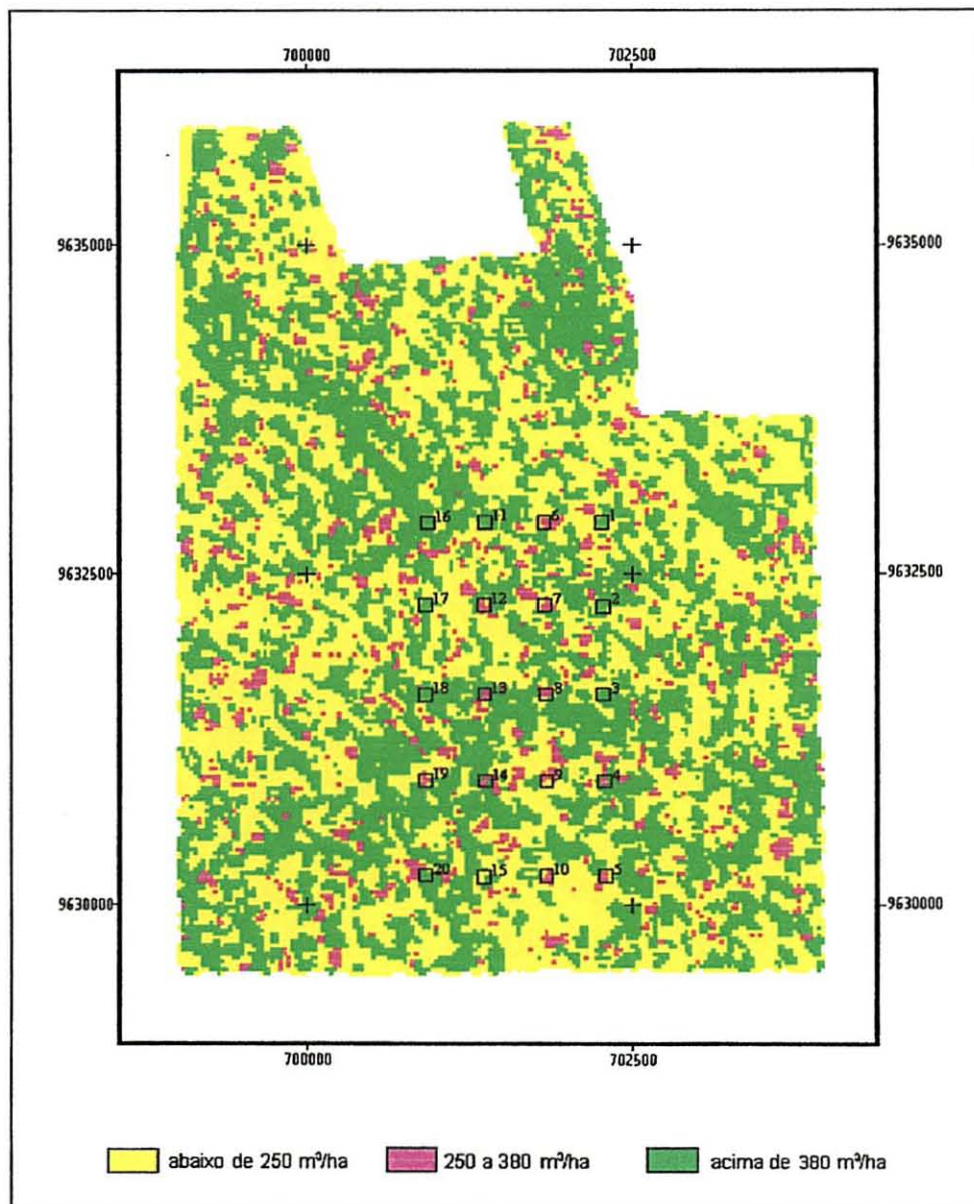
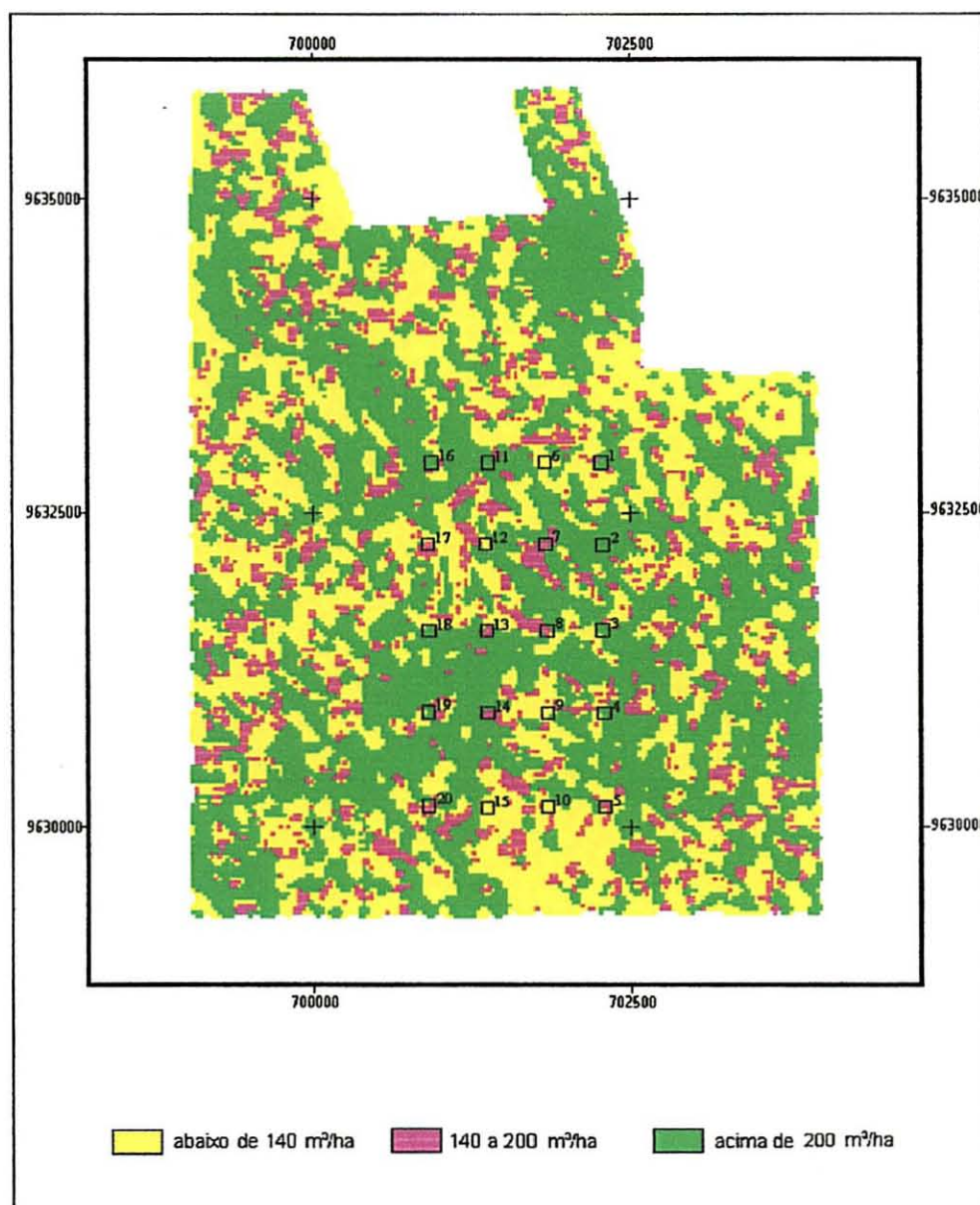




FIGURA 37 - MAPA DE VOLUME DO ESTRATO SUPERIOR DE UMA FLORESTA PRIMÁRIA, MUNICÍPIO DE MOJU - PARÁ, OBTIDO A PARTIR DE IMAGEM SINTÉTICA GERADA PELA APLICAÇÃO DO MODELO " $V = 1743,5 - 13187,3 \text{ MED} - 21226,7 \text{ REF3}$ ", APÓS APLICAÇÃO DE UM FILTRO DE MODA



## 6 CONCLUSÕES

Tendo como elementos balizadores os resultados obtidos neste trabalho, de uma maneira geral, a metodologia proposta atendeu aos objetivos previamente estabelecidos, sendo importante destacar alguns aspectos conclusivos:

- ✓ A área de floresta primária estudada apresenta uma alta riqueza e diversidade florística, sendo as famílias Sapotaceae, Fabaceae e Mimosaceae as mais ricas em espécies;
- ✓ O presente estudo demonstra a importância de se ter uma abordagem minuciosa de um ecossistema florestal para fins de conhecimento de unidades homogêneas do ponto de vista ecológico, requisito básico para ações futuras de manejo e conservação;
- ✓ A aplicação de técnicas de Análise de Agrupamento gerou três grupos distintos, sobretudo para as variáveis densidade, área basal, biomassa e volume evidenciando uma variação estrutural na área;
- ✓ Nas imagens Modelo Linear de Mistura Espectral e SAVI, as áreas florestadas são facilmente delimitadas, inclusive podendo-se visualizar com clareza áreas que sofreram exploração seletiva, bem como diferenciações de estágios sucessionais;
- ✓ A floresta primária estudada caracterizou-se por altos valores de SAVI, grandes proporções dos componentes vegetação e sombra e reduzidas proporções do componente solo;

- ✓ O MLME, SAVI e parâmetro textural média mostraram-se como bons discriminadores, caracterizando bem o comportamento das intra-classes de floresta primária em termos de área basal, biomassa e volume;
- ✓ Para os parâmetros texturais variância, homogeneidade e segundo momento angular não foi possível evidenciar nenhuma relação com as variáveis biométricas estudadas;
- ✓ Existe alta correlação negativa entre área basal, biomassa e volume e os valores de reflectância da banda 4, SAVI, proporção vegetação e parâmetro textural média. Fortes correlações, porém em sentido positivo, também existem entre essas mesmas variáveis biométricas e a proporção sombra. As variáveis densidade e diversidade de espécies não apresentam forte correlação com nenhuma variável digital estudada;
- ✓ O alto relacionamento entre as variáveis biométricas e as variáveis digitais é produzido principalmente pelo estrato superior da floresta;
- ✓ Através das variáveis digitais utilizadas não é possível estabelecer estimativas de densidade, área basal e diversidade através de modelos de regressão com o emprego de imagens do satélite TM/LANDSAT 5;
- ✓ Na estimativa de biomassa e volume por regressão linear, a contribuição da variável reflectância da banda 4 é superior às demais, quando considera-se todos os estratos florestais conjuntamente;
- ✓ A melhor relação funcional entre dados de campo e de satélite para as variáveis biomassa e volume do estrato superior da floresta é dada pelo



parâmetro textural média com ganho de informação pela adição da variável reflectância da banda 3;

- ✓ A estimativa de parâmetros biométricos com emprego de dados orbitais associados a dados de campo apresenta-se satisfatória, mostrando que os valores obtidos das imagens propiciam a caracterização da floresta primária em termos de biomassa e volume;
- ✓ A utilização destas técnicas podem facilitar, sobretudo, uma análise de possíveis mudanças estruturais que porventura aconteçam nos processos de exploração e conservação das áreas de floresta primária;
- ✓ O presente estudo reforça ainda mais o emprego das técnicas de sensoriamento remoto, principalmente em nível orbital, considerando que, atualmente, encontram-se em disponibilidade sensores com melhores resoluções espacial e espectral, que tornam possíveis avaliações qualitativa e quantitativa mais detalhadas da Floresta Amazônica.

## 7 RECOMENDAÇÕES

- ✓ Recomenda-se o estabelecimento de maior número de pontos amostrais em ocasião do inventário florestal visando a formação de um banco de dados que melhor represente as variabilidades encontradas intra-classes;
- ✓ Sugere-se o emprego de sensores de alta resolução como Ikonos, que tornem possíveis melhores avaliações qualitativa e quantitativa da Floresta Amazônica;
- ✓ Sugere-se a continuação desta pesquisa em áreas submetidas à extração seletiva onde possa-se avaliar a sensibilidade de Imagens-Índice, Imagens-Proporção e Imagens Textura na detecção de alterações dos parâmetros biométricos da floresta, através de uma série temporal de imagens orbitais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHARD, F.; EVA, H.; GLINNI, A.; MAYAUX, P.; RICHARDS, T.; STIBIG, H.J. **Identification of deforestation hot spot areas in the humid tropics**. Luxemburgo: ECSC-EC-EAEC, 1998. 99 p. (TREES Publications Series B. Research Report, n.4).

ADAMS, J.B.; SMITH, M.O.; GILLESPIE, A.R. **A mixing-model strategy for analyzing and interpreting hyperspectral images**. Seattle, University of Washington, 1989. 35p.

ADAMS, J.B.; SMITH, M.O.; GILLESPIE, A.R. Simple models for complex natural surfaces: a strategy for the hyperspectral era of remote sensing. In: IGARSS'89 (International Geoscience and Remote Sensing Symposium), 12./Symposium Canadien sur la teledetection, 12. **Remote Sensing: an economic tool for the nineties**. Vancouver, IEEE/CRSS/URSI, July 10-14. v.1, p.16-21. 1989.

AGUIAR, A.P.D. **Utilização de atributos derivados de proporções de classes dentro de um elemento de resolução de imagem ("pixel") na classificação multiespectral de imagens de sensoriamento remoto**. São José dos Campos. 202p. (INPE-5306-TDI/456). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1991.

AMARAL, S.; SOARES, J. V.; ALVES, D. S.; MELLO, E. M. K.; ALMEIDA, S. A. S.; SILVA, O. F.; SILVEIRA, A. M. Relações entre índice de área foliar (IAF), área basal e índice de vegetação (NDVI) em relação a diferentes estágios de crescimento secundário na Floresta Amazônica em Rondônia. In: VIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. **Anais**, Salvador, 1996. CD-ROM.

ARAI, K. A. Classification method with a spatial-spectral variability. **Int. J. Remote Sensing**, v. 14, n. 4, p. 699-709, 1993.

ARAI, K. A. Multi-temporal textural analysis in TM classification. **Canadian J. Remote Sens.**, v. 17, n. 3, p. 203-210. 1991.

ARAÚJO, L.S. **Análise da cobertura vegetal e de biomassa em áreas de contato floresta/savana a partir de dados TM/LANDSAT e JERS-1**. São José dos Campos. 129p. (INPE-7253-TDI/696). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) , Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1999.

ARDÖ, J. Volume quantification of coniferous forest compartments using spectral radiance recorded by Landsat Thematic Mapper. **Int. J. Remote Sensing**, v.13, n.9, p.1779-1786, 1992.

BARET, F.; CLEVERS, J.G.P.W.; STEVEN, M.D. The robustness of canopy gap fraction estimates from red and near-infrared reflectances: a comparison of approaches. **Remote Sensing of Environment**, v. 54, n.2, p.141-151, Nov., 1995.

BARET, F.; GUYOT, G. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. **Remote Sensing of Environment**, v.35, p.161-173, 1991.

BARROS, P. L. C. de. **Estudo fitossociológico de uma floresta tropical úmida no Planalto de Curuá-Una, Amazônia Brasileira**. Tese de Doutorado em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 147 p. 1986.

BASSAB, W de O., MIAZAKI, E. S.; ANDRADE, D. F. **Introdução à análise de agrupamentos**. ABE. São Paulo-SP. 101p, 1990.

BATISTA, G. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; LAWRENCE, W. T. The long-term monitoring of vegetation cover in the Amazonian region of northern Brazil using NOAA-AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 18, n. 15, p. 3195-3210, Oct. 1997.

BENTZ, C.R. **Avaliação da transformação radiométrica dos dados TM/Landsat-5 em reflectâncias**. São José dos Campos. 172 p. (INPE-5210-TDL/431). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1990.

BERNARDES, S. **Índices de vegetação e valores de proporção na caracterização de floresta tropical primária e estádios sucessionais na área de influência da Floresta Nacional do Tapajós - Estado do Pará**. São José dos Campos. 97 p. (INPE-6890-TDI/651). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1998.

BERNARDES, S. Utilization of a linear mixing model applied to Landsat-TM data to characterize Brazilian amazon vegetation. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON RESOURCE AND ENVIRONMENTAL MONITORING, 1, Rio de Janeiro, 1994. **Abstracts**. Rio de Janeiro, ISPRS Commission VII, 1994, v. 30, p 27.

BIJLSMA, R. J. The characterization of natural vegetation using first-order and texture measurements in digitized, colour-infrared photography. **Int. J. Remote Sensing**, v. 14, n. 8, p. 1547-1562, 1993.

BIRKY, A. K. NDVI and a simple model of deciduous forest seasonal dynamics. **Ecological Modelling**, v. 143, p.43-58, 2000.

BOX, E. O.; HOLBEN, B. N.; KALB, V. Accuracy of the AVHRR Vegetation Index as a predictor of biomass, primary productivity and net CO<sub>2</sub> flux. **Vegetatio**, v. 80, p. 71-90, 1989.

BROWER, J. E.; ZAR, J. H. **Field and laboratory methods for general ecology**. Wm. C. Brown Company. 194 p. 1977.

BROWN, S.; GILLESPIE, A.J.R.; LUGO, A. E. Biomass estimation methods for tropical forest with applications to forest inventory data. **Forest Science**, v. 35, n. 4, p. 881-902, 1989.

CARLTON, S.G.; MITCHELL. O.R. Image segmentation using texture and gray level. **Proc. IEEE Conference on Pattern Recognition & Image Processing**, p. 387-392, 1977.

CARVALHO, A. E. F. B. de. **Estrutura fitossociológica e pós-estratificação multidimensional de uma área na Flona do Tapajós - Pará**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém. 173p. 1999.

CARVALHO, J. O. P. de. **Structure and dynamics of a logger over Brazilian Amazonian rainforest**. Ph.D. thesis. University of Oxford. Oxford. 1992.

CHATTERJEE, S.; PRICE, B. **Regression analysis by example**. New York, John Wiley, 1977. 228p.

CHAVEZ, P.S., Comparison of spatial variability in visible and near infrared spectral images. **Photogramm. Eng. Remote Sens.**, 58(7):957-964, 1992.

CHELLAPPA, R.; JAIN. A. **Markov random field: theory and application**, Academic Press, N.Y., 1993.

CHEN, C. C. **Informações espectrais e texturais de vegetação da região amazônica a partir de dados do sensor TM do satélite Landsat**. Tese de Doutorado. FFLCH/USP, São Paulo. 135p. 1996.

CHUVIECO, E. **Fundamentos de teledetección espacial**. Madrid: Ediciones Rialp, 1990. 453 p.

COLWELL, J. E. Vegetation canopy reflectance. **Remote Sensing of Environment**, v. 3, n.3, p. 175-183, 1974.

CONNERS. R.W.; HARLOW C.A., A theoretical comparison of texture algorithms. **IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.**, PAMI- v.2, n.3, p.204-222, 1980.

CURRAN, P. J.; DUNGAN, J. L.; GHOLZ, H. L. Seasonal LAI in slash pine estimated with Landsat TM. **Remote Sensing of Environment**, v. 39, n.1, p. 3-13, Jan., 1992.

CURRAN, P. J. The semi-variogram in remote sensing: an introduction. **Remote Sensing of Environment**, v. 24, p. 493-507, 1988.

DEERING, D. W.; ROUSE, J. W.; HASS, R. H.; SCHELL, J. A Measurement forage production of grazing units from LANDSAT MSS data. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 10., Ann Arbor, 1975. **Proceedings**. Ann Arbor, ERIM, 1975. v. 2, p. 1169-1178.

DREYER, P. Classification of land cover using operational neural nets on SPOT data. **Photogramm. Eng. & Remote Sens.**, v. 59, n. 5, p.617-621, 1993.

EPIPHANIO, J.C.N.; FORMAGGIO, A. R. Abordagem do uso de número digital e de reflectância em sensoriamento remoto com dados de satélites. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 5., Natal, 1988. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 1988. v. 2, p. 400-405.

FAO (FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS). Forest resources assessment. **Forestry paper**, v. 112, Italy, FAO, 1993.

FEARNSIDE, P. M. Amazonian deforestation and global warning: carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon forest. **Forest Ecology and Management**, v.80, p.21-34, 1996.

FIGUEIREDO, D. C. **Sistema de obtenção de índice de vegetação para América do Sul por processamento digital de imagens NOAA/AVHRR**. São José dos Campos, INPE, 1990. 107p. (INPE 5068-TDL/407).

FINEGAN, B. **Bases ecológicas de la silvicultura y la agroforesteria**. Turrialba - Costa Rica, Centro Agronomico Tropical de Investigacion y Ensenanza-CATIE, 1992. 153 p.

FRANKLIN, S. E.; PEDDLE, D. R. Classification of SPOT HRV imagery and texture features. **Int. J. Remote Sensing**, v. 11, n. 3, p. 551-556, 1990.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 1992. 92 p. (Manuais Técnicos em Geociências, 1).

GILLESPIE, A.R, SMITH, M O.; ADAMS, J.B.; WILLIS, S.C.; FISCHER, A.F.; SABOL, D.E. Interpretation of residual images: spectral mixture analysis of Aviris images, Owens Valley, California. In: AIRBORNE SCIENCE WORKSHOP. Pasadena, California, 1990. **Proceedings**. Pasadena, JPL, 1990, p. 243-270.

GOMIDE, L. A. **Estrutura e dinâmica de crescimento de florestas tropicais primária e secundária no Estado do Amapá**. Curitiba. 179 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). - Universidade Federal do Paraná, 1997.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. Recognition and Interpretation. In: **Digital Image Processing**. Reading. Mass. Addison-Wesley, 1992, p. 571-661.

GRAMENOPOULOS, N. Terrain type recognition using ERTS-1 MSS images. **Proc. Symp. Significant Results obtained from the Earth Res. Technol. Satellite**, NASA SP- 327, p. 1229-1241, 1973.

GURGEL, H. C.; FERREIRA, N. J.; LUIZ, A. J. B. Análise da Variabilidade Espacial e Temporal do NDVI sobre o Brasil. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 10. **Anais**, Foz do Iguaçu, 2001. CD-ROM. 2001.

GUYOT, G.; GU, X.F. Effect of radiometric corrections on NDVI-determined from SPOT HRV and Landsat-TM data. **Remote Sensing of Environment**, v. 49 n.30, p.169-180, Sept., 1994.

HAINES-YOUNG, R.; GREEN, D.R; COUSINS, S. Landscape Ecology and Spatial Information Systems. In: HAINES-YOUNG, R.; GREEN, D.R.; COUSINS, S. **Landscape ecology and spatial information systems**. Bristol, Taylor and Francis, 1993. Cap.1, p.3-8.

HALL, F.G.; SHIMABUKURO, Y.E.; HUENNRICH, K.F. Remote sensing of forest biophysical structure using mixture decomposition and geometric reflectance models. **Ecological Applications**, v. 5, n. 4, p.993-1013, 1995.

HARALICK, R. M. Statistical and structural approaches to texture. **Proceedings of the IEEE**, v. 67, n. 5, p. 786-804. 1979.

HARALICK, R. M.; SHANMUGAM, K.; DINSTEN, I. Textural features for image classification. **IEEE Transaction on systems, man and cybernetics**, v. 3, n. 6, p: 610 – 620. 1973.

HARALICK, R.M.; SHANMUGAM. K. S. Combined spectral and spatial processing of ERTS imagery data. **Remote Sensing of Environment**, v.3, p.3-13. 1974.

HARRIS. R. Spectral and spatial image processing for remote sensing, **Int. J. Remote Sens.**, v. 1, n. 4, p.:361-375, 1980.

HILL, R.A.; FOODY, G. M. Separability of tropical rain-forest types in the Tambopata-Candamo Reserved Zone, Peru. **Int. J. Remote Sens.**, v.15, n.13, p. 2687-2693, 1994.

HOLBEN, B.N.; SHIMABUKURO, Y.E. Linear mixing model applied to AVHRR LAC data. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., Curitiba, 1993. **Anais.** São José dos Campos, INPE, 1993, v.2, p. 102-110.

HONG, S.; FUKUE, K.; SHIMODA, H.; SAKATA, T. Non-parametric texture analysis using neural network. **Proc. ISPRS XVII Congress** (International Society of Photogrammetry & Remote Sensing), TC-VII, p. 601-604, 1992.

HORLER, D. N. H.; AHERN, F. J. Forestry information content of Thematic Mapper data. **Int. J. Remote Sens.**, v.7, n.3, p. 405-428, 1986.

HORWITZ, H.M.; NALEPKA, R.F.; HYDE, P.D.; MORGENSTENT, J. P. Estimating the proportions of objects within a single resolution element of a multispectral scanner. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF THE ENVIRONMENT, 7, Ann Arbor, 1971. **Proceedings.** Ann Arbor, 1971, p. 1307-1320.

HUETE, A. R. A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, n. 3, p. 295-309, Aug. 1988.

HUETE, A. R. Extension of soil spectra to the satellite: atmosphere, geometric, and sensor considerations. **Photo-Interpretation**, v. 2, p. 101-114, Oct. 1996.

HUETE, A. R. Soil influences in remotely sensed vegetation-canopy spectra. In: Asrar, G. **Theory and applications of optical remote sensing.** New York, John Wiley, 1989. Cap. 4. p.107-141.

HUETE, A. R. Soil-dependent spectral response in a developing plant canopy. **Agronomy Journal**, 79(1):61-68, Jan.-Feb., 1987.

HUETE, A. R.; JACKSON, R.D.; POST, D. F. Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds. **Remote Sensing of Environment**, 17(1):37-53, Feb., 1985.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. **Forest mensuration.** New York, Ronald Press, 1972. 410 p.

IBGE - FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira.** Rio de Janeiro, 1992. 91 p.

INPE (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS). **Deforestation in Brazilian Amazonia.** São José dos Campos, Brasil, 1992.

INPE (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS); FUNCATE (FUNDAÇÃO PARA CIÊNCIA AEROESPACIAL, APLICAÇÕES E



TECNOLOGIA). **Projeto Prodes: levantamento das áreas desflorestadas na Amazônia Legal no período 1991-1994**. Ministério da Ciência e Tecnologia, São José dos Campos, julho, 1996.

JACKSON, R.D.; HUETE, A.R. Interpreting vegetation indices. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 11, p.185-200, 1991.

JAKUBAUSKAS, M. E.; PRICE, K. P. Empirical relationships between structural and spectral factors of Yellowstone lodgepole pine forest. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v.63, n.12, p.1375-1381, 1997.

JARDIM, F. C.; HOSOKAWA, R. T. Estrutura da Floresta Equatorial Úmida da Estação Experimental de Silvicultura Tropical do INPA. **Acta Amazônica**, v. 16/17 (nº único): p. 411-508. 1986/87.

JUPP, D.L.B.; STRAHLER, A.; WOODCOCK, C. E. Autocorrelation and regularization in digital images II. Simple image models. **IEEE Trans. Geosci. & Remote Sens.**, v. 27, n.3, p.247-258, 1989.

KAZMIERCZAK, M. L. **Estimativa de variáveis dendrométricas em florestas homogêneas a partir de dados LANDSAT TM**. São José dos Campos, 186p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1992.

KHAZENIE, N.; RICHARDSON, K. A. Comparison of texture analysis techniques in both frequency and spatial domains for cloud feature extraction. **Proc. ISPRS XVJ1 Congress** (International Society of Photogrammetry & Remote Sensing); TC-VII, p. 1009-1014, 1992.

KUSHWAHA, S. P. S.; KUNTZ, S.; OESTEN, G. Applications of image texture in forest classification. **Int. J. Remote Sensing**, v. 15, n.11, p. 2273-2284, 1994.

KVÅLSETH, T. O. Note on biological diversity, evenness, and homogeneity measures. **Oikos**, v. 62, n.1, p. 127-127. 1991.

LANDE, R. Statistics and partitioning of species diversity, and similarity among multiple communities. **Oikos**, v. 76, n.1, p. 5-13. 1996.

LENDARIS, J.; STANLEY, G. Diffraction pattern sampling for automatic pattern recognition, **Proc. IEEE**, 58C:198-216, 1970.

LIPKIN. B. C.; RESENFELD. A. **Picture processing and psychopictorics**. Academic Press, N.Y., 1970.

LO, C. P. **Applied remote sensing**. New York, Longman, 1986. 393p.

LOBO, A. Image Segmentation and Discriminant Analysis for the Identification of Land Cover Units in Ecology. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 35(5):1136-1145. 1997.

LUZ, N. B.; LINGNAU, C. Detecção de Fisionomias Florestais com o Auxílio de Características Texturais para Elaboração do Plano de Manejo da Estação Ecológica do Rio Guarani. In: GIS BRASIL 2000, Salvador. **Anais**, 2000. CD-ROM.

MACIEL, M. N. M. **Levantamento da Cobertura Vegetal e Estudo Fitossociológico da Floresta Nacional de Caxiuanã - PA**. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais - Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém. 118p. 1998.

MACIEL, U. N.; LISBOA, P. L. B. Estudo florístico de 1 hectare de mata de terra firme no km 15 da Rodovia Presidente Médice – Costa Marques (RO-429), Rondônia. **Bol. Mus. Paraense Emílio Goeldi – Bot.** v.5, n.1, p. 25-37. 1989.

MANLY, B. F. J. **Multivariate statistical methods: a primer**. Chapman and Hall Ltd. New York. 159p. 1986.

MARCEAU, D.; HOWARTH. P.J.; DUBOIS. J.M.; GRATTON, D.J. Evaluation of the grey-level co-occurrence matrix method for land-cover classification using SPOT imagery. **IEEE Trans. Geosci. & Remote Sens.**, v. 28, n.4, p.513-519, 1990.

MARKHAM, B.L.; BARKER. J.L. Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectances and at-satellite temperatures. **EOSAT Landsat Technical Notes**. n. 1, 8 p., Ago. 1986.

MASELLI, F. Definition of spatially variable spectral endmembers by locally calibrated multivariate regression analyses. **Remote Sensing of Environment**, v. 75, p. 29-38, 2000.

MASELLI, F. GILABERT, M. A.; CONESE, C. Integration of high and low resolution NDVI data for monitoring vegetation in mediterranean environments. **Remote Sensing of Environment**, v. 63, p. 208-218, 2001.

MATTEUCCI, S. D; COLMA, A. **Metodologia para el estudio de la vegetation**. Washington: Secretaria General de la Organización de los Estudios Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. 1982. 168p.

MINISTÉRIO DAS CIÊNCIAS E TECNOLOGIA. **Divulgação das estimativas oficiais do desflorestamento bruto na Amazônia Brasileira - 1995, 1996 e 1997**. [www.mct.gov.br/gabin/cpmg/climate/programa/port/prodes.htm](http://www.mct.gov.br/gabin/cpmg/climate/programa/port/prodes.htm), 17p. 1998.

MIRANDA, F. P.; McDONALD, J.A.; CARR, J.R. Application of the semivariogram textural classifier (STC) for vegetation discrimination using SIR-B data of Borneo. **Int. J. Remote Sens.**, v.13, n.12, p.2349-2354, 1992.

MITCHELL, O.R.; MYER, C.R.; BOYNE, W. A max-min measure for image texture analysis. **IEEE Trans. Comput.**, 408-414, 1977.

MORAN, E. F.; BRONDIZIO, E.; MAUSEL, P.; WU, Y. Integrating Amazonian Vegetation, Land-use, and satellite data. **BioScience**, v. 44, n.5, p.329-38. 1994.

MORELLATO, P. L. C.; ROSA, N. A. caracterização de alguns tipos vegetação na região amazônica, Serra dos Carajás, Pará, Brasil. **Revta. Brasil. Bot.**, v.14, p. 1-14. 1991.

MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLEMBERG, H. **Aims and methods of vegetation ecology**. New York, John Wiley, 547 p. 1974.

MYERS, N. Tropical forests: present status and future outlook. **Climatic changes**, v.19, n. 3, p.3-32, 1991.

MYNENI, R. B.; HALL, F. G.; SELLERS, P. J.; MARSHAK, A. L. The interpretation of spectral vegetation indexes. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. v.33, n. 2, p.481-486, Mar., 1995.

NAGAO, K.; TANABE, H.; ITO, K. Agricultural land use classification of aerial photographs by histogram similarity method. **Proc. JEEE 3rd Int. Conf. Pattern Recognition**, v. 3, p.669-672, 1976.

NASCIMENTO, P. S. R. **Avaliação de técnicas de segmentação e classificação por regiões em imagens Landsat-TM visando o mapeamento de unidades de paisagem na Amazônia**. São José dos Campos. 102 p. (INPE-6391-TDI/607). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1997.

NELSON, B. W. **Inventário florístico e fisionômico da Amazônia: tendência de amostragem nos herbários e potencial do sensoriamento remoto**. Manaus, 1986, 147 p. Tese de Doutorado. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Universidade do Amazonas.

NELSON, R. F. Reducing Landsat MSS scene variability. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 51, n. 5, p. 583-593. 1985.

NEPSTAD, D. C.; UHL, C.; SERRAO, E. A. S. Recuperation of a degraded Amazonian landscape: forest recovery and agricultural restoration. **Ambio**, v. 20, n. 6, p. 248-255, 1991.

NETER, J.; WASSERMAN W. **Applied linear statistical models - regression, analysis of variance and experimental designs**. Homewood, IL: Richard D. Irwin, 1974. 842 p.

OLIVEIRA, A. A. de. **Diversidade, estrutura e dinâmica do componente arbóreo de uma floresta de terra firme de Manaus, Amazonas**. Dissertação de Mestrado em Botânica - Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, São Paulo. 155p. 1997.

ORLÓCI, L. **Multivariate analysis in vegetation research**. Boston, DR. W. JUNK B.V. 451p., 1978.

PÄRTEL, M., ZOBEL, M., ZOBEL, K.; van der MAAREL, E. The species pool and its relation to species richness: evidence from Estonian plant communities. **Oikos**, v. 75, n.1, p. 117-127. 1996.

PEARSON, P. L.; MILLER, L. D. Remote sensing of standing crop biomass for estimating of the productivity on the shortgrass prairie. IN: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 8., Ann Arbor, 2-6 Oct. 1972. **Proceeding**. Ann Arbor, ERIM, 1972, p. 1355-1379.

PEDDLE, D. R.; FRANKLIN, S. E. Image texture processing and data integration for surface pattern recognition. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v.57, n. 4, p. 413-420. 1991.

PEREIRA, J. L. G. **Estudo de áreas de florestas em regeneração através de imagem Landsat-TM**. São José dos Campos. 137 p. (INPE-5987-TDI/578). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1996.

PEREIRA, J. L. G.; BATISTA, G. T.; ROBERTS, D. A. Classificação da cobertura da terra na região Amazônica através de classificação de regiões em imagens de proporção de componentes. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., Santos, 1998. **Anais**. São Paulo: Fábrica da Imagem Multimídia, 1998. Sessão poster. CD-ROM.

PEREIRA, J. L. G.; BATISTA, G. T.; THALÊS, M. C. Alteração do estoque de carbono de uma região do sudeste do Pará entre 1973 e 1997. In: GISBRASIL, 6. Salvador, 2000. **Anais**. CD-ROM.

PETERSON, D. L.; RUNNING, S. W. Applications in forest science and management. In: Asrar, G. **Theory and applications of optical remote sensing**. New York, John Wiley, 1989. Cap. 10, p.429-473.

PIELOU, E. C. **Ecological diversity**. John Wiley & Sons, New York. 165p. 1975.

PIRES, J. M. Aspectos da vegetação do norte do Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 32. Teresina, 1981. **Anais**. Teresina: Sociedade Brasileira de Botânica, 1982. p. 157-170.

POOLE, R. W. **An Introduction to Quantitative Ecology**. New York, Mc Graw Hill, 532 p., 1974.

QUEIROZ, W. T. de (Coord.); BARROS, A. V. de (Coord.). **Inventário Florestal de 3097 ha da Floresta Nacional de Saracá-Tacuera, Município de Oriximiná - Pará**. Belém: Mineração Rio do Norte: Faculdade de Ciências Agrárias do Pará. Departamento de Ciências Florestais. 173p. 1998.

QUEIROZ, W. T. de (Coord.). **Censo Florestal de uma área de 1100 ha da Floresta Nacional do Tapajós - Pará**. Belém: Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis: Faculdade de Ciências Agrárias do Pará. Departamento de Ciências Florestais. 153p. 1992.

RABELLO, A. L. Efeito estufa: uma ameaça no ar. **Ciência Hoje**, v. 5, n. 29, p.50-55, Mar. 1987.

RADAMBRASIL. **Folha SA 22-Belém**. Rio de Janeiro, MME/PNPM. 1974, 274 p. Tab. Mapas. (Levantamento de Recursos Naturais, 5).

RICHARDS, J. A. **Remote sensing digital image analysis: an introduction**. Berlin, Springer-Verlag, 1986. 281p.

RICHARDS, P. W. **The Tropical Rain Forest**. Londres: Cambridge University Press, 1952. 450 p.

ROBINOVE, C. J. Computation of physical values for Landsat digital data. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 48, n. 5, p. 781-784, 1982.

RONDEAUX, G.; STEVEN, M.; BARET, F. Optimization of Soil-Adjusted Vegetation Indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 55, n. 2, p.95-107, Feb., 1996.

ROSENFELD, A.; THURSTON. M. Edge and curve detection for visual scene analysis. **IEEE Trans. Comput.**, C-20:562-569, 1971.

ROUSE, J. W.; HASS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation system in the great plains with ERTS. IN: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3., 1973. **Proceeding**. Washington, 1973, v. 1, Sec. A. p. 309-317.

ROY, P. S.; RANGANATH, B. K.; DIWAKAR, P. G.; VOHRA, T. P. S., BHAN, S.K.; SINGH, I. J., PANDIAN, V.C. Tropical forest type mapping and monitoring using remote sensing. **Int. J. Remote Sens.**, v.12, n. 11, p. 2205-2225, 1991.

RUNNING, S. W.; RAMAKRISHNA, R. N.; PETERSON, D. L.; BAND, L. E.; POTTS, D. F.; PIERCE, L. L.; SPANNER, M. A. Mapping regional forest evapotranspiration and photosynthesis coupling satellite data with ecosystem simulation. **Ecology**, v.70, n. 4, p.1090-1101, Ago., 1989.

SALI, E.; WOLFSON, H. Texture classification in aerial photographs and satellite data. **Int. J. Remote Sensing**, 13, 18: 3395-3408, 1992.

SANTOS, J. R. **Biomassa aérea da vegetação de cerrado: estimativa e correlação com dados do sensor "Thematic Mapper" do satélite LANDSAT.** Curitiba. 156 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). - Universidade Federal do Paraná, 1988.

SANTOS, J. R.; PARDI LACRUZ, M. S.; KEIL, M.; KUX, H. J. H.; XAUD, M. R. Análise da imagem JERS-1 para estimativa da biomassa aérea de florestas tropicais no sudoeste da Amazônia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., Santos, 1998. **Anais.** São Paulo, Fábrica da Imagem Multimídia, 1998. Sessão oral. CD-ROM.

SHIMABUKURO, Y. E. **Shade images derived from linear mixing models of multispectral measurements of forested areas.** (Doctoral Dissertation) - Colorado State University, Fort Collins, CO, 1987.

SHIMABUKURO, Y. E.; MELLO, E. M. K.; MOREIRA, J. C.; DUARTE, V. **Segmentação e classificação da imagem sombra do modelo de mistura para mapear desflorestamento na Amazônia.** São José dos Campos: INPE, 1997. 16 p. (INPE-6147- PUD/029).

SHIMABUKURO, Y. E.; SMITH, J. A. Fraction images derived from Landsat TM and MSS data for monitoring reforested areas. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 21, n.1, p.67-74, 1995.

SHIMABUKURO, Y. E.; SMITH, J. A. The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 29, n. 1, p.16-20, Jan., 1991.

SILVA, A. S. L., LISBOA, P. L. B.; MACIEL, U. N. Diversidade florística e estrutura em floresta densa da bacia do Rio Juruá. **Bol. Mus. Paraense Emílio Goeldi – Bot.**, v. 8, n. 2, p. 203-258. 1992.

SKOLE, D. L.; CHOMENTOWSKJ, W. H.; SALAS, W. A.; NOBRE, A. D. Physical and human dimensions of deforestation in Amazonia. **BioScience**, v. 44, n. 5, p. 314-322, May, 1994.

SKOLE, D. L.; TUCKER, C. Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon: Satellite data from 1978 to 1988. **Science**, v.260, p.1905-1910, 1993.

SMITH, M.O.; ADAMS, J. B.; GILLESPIE, A. R. Reference endmembers for spectral mixture analysis In: AUSTRALIAN REMOTE SENSING CONFERENCE, 5, Perth, 1990. **Proceedings**. Perth, 1990, v. 1, p. 331-340.

SMITH, M.O.; JOHNSON, P.E.; ADAMS, J.B. Quantitative determination of mineral types and abundances from reflectance spectra using principal components analysis. **Journal of Geophysical Research**, 90c(supplement): c797-c804, Feb., 1985.

SNEATH, P. H. A.; SOKAL R. R. **Numerical taxonomy: The principles and practice of numerical classification**. W. H. Freeman and Company. San Francisco, 1973.

SOUSA, C. L. **Avaliação de imagens-índice e imagens proporção para detecção de alteração no volume de madeira em florestas implantadas**. São José dos Campos. 125p. (INPE-6398-TDI/614). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) , Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1997.

SOUSA, C. L.; PONZONI, F. J. Avaliação de índices de vegetação e de bandas TM/Landsat para estimativa de volume de madeira em florestas implantadas de Pinus spp. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10. **Anais**, Santos, 1998. CD-ROM.

SOUZA, A. L. de. **Análise multivariada para manejo de florestas naturais: alternativas de produção sustentada de madeiras para serraria**. Curitiba Tese de Doutorado, 254p. Universidade Federal do Paraná. 1989.

STATSOFT. STATISTICA. <<http://www.statsoft.com.br/statisti.htm>>. Mar. 2001.

STRAHLER, A. H.; LOGAN, T.L.; WOODCOCK, C.E. Forest classification and inventory system using Landsat digital terrain and ground sample data. **Proc. 13th Int. Symp. of Remote Sens. of Environ.**, p. 1541-1566, 1979.

STRAHLER, A. H. Stratification of natural vegetation for forest and rangeland inventory using Landsat digital imagery and collateral data. **Int. J. Remote Sens.**, v. 2, n. 1, p.15-41. 1981.

SUDAM/OEA. **Diagnóstico de Recursos Naturais: Área Programa Guamá-Acará-Moju**. Programa de Estudos e Pesquisas nos Vales Amazônicos (PROVAM). Relatório Técnico, Belém, 1988, 177 p.

SWAINE, M. D.; HALL, J.B. Early succession on cleared forest land in Ghana. **J. Ecology**, v. 71, p. 601-27, 1983.

SULSOFT. ENVI. <<http://www.sulsoft.com.br/ENVI/envi.html>>. Mar. 2001.

SZEKIELDA, K. **Satellite monitoring of the earth**. New York, John Wiley, 1988. 326p.

TAKEUCHI, S.; INANAGA, A. Scaling-up of land cover information by using multiple resolution satellite data. **Adv. Space Res.**, v. 26, n. 7, p. 1127-1130, 2000.

TAYLOR, D. R., AARSEN, L. W.; LOEHLE, C. On the relation between  $r/k$  selection and enviromental carrying capacity: a new habitat templet for plant life history strategies. **Oikos**, v. 58, n. 2, p. 239-250. 1990.

TROTTER, C. M.; DYMOND, J. R.; GOULDING, C. J. Estimation of volume timber in a coniferous plantation forest using Landsat TM. **Int. J. Remote Sens.**, v. 18, n. 10, p.2209-2223. 1997.

TURNER, B.L.; MEYER, W.B, SKOLE, D. Global land-use/landcover change: Towards ao integrated study. **Ambio**, v. 23, n. 1, p.91-95, 1994.

UHL, C.; BUSCHBACHER, R.; SERRÃO, E. A. S. Abandonned pastures in eastern Amazonia.I:patterns of plant sucession. **Journal of Ecology**, v. 76, p. 663-681, 1988.

UHL, C.; MURPHY, P. G. Composition, structure, and regeneration of a terra firme forest in the Amazon basin of Venezuela. **Tropical Ecology**, v. 22, n. 2, p.219-37, 1981.

VAN GOOL, L.; DEWAELE, P.; OOSTERLINCK. A., Survey: texture analysis anno 1983. **Computer Vision, Graphics, and Image Processing**, 29:336-357, 1985.

VAN TONGEREN, O F. R. Cluster analysis. In JONGMAN, R. H.(ed.), TER BRAAK, C. J. F.(ed.); van TONGEREN, O F. R.(ed.). **Data analysis in community and landscape ecology**. Cambridge Univ. Press, Cambridge. 299p. 1995.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da Vegetação Brasileira, adaptada a um Sistema Universal**. Rio de Janeiro: IBGE/PROJETO RADAMBRASIL, 1991. 165 p.



VERSTRAETE, M. M, BELWARD, A. S.; KENNEDY, P. J. The Institute for Remote Sensing Applications contribution to the global change research program. "Remote sensing and global change". In: ANNUAL CONFERENCE OF REMOTE SENSING SOCIETY, 16<sup>0</sup>, Swansea. **Proceedings**. Swansea University College, 1990. p.4-12.

WANG, L; HE, D. C. A new statistical approach for texture analysis. **Photogramm. Eng. Remote Sens.**, v. 56, p.61-66, 1990.

WECHSLER, H. Texture analysis - a survey, **Signal Processing**, v.2, p. 271-282, 1980.

WHITMORE, T. C. Tropical rain forest dynamics and its implications for management. In: GOMES-POMPA, A.; WHITMORE, T. C.; HADLEY, M. **Rain forest regeneration and management**. Paris, UNESCO and The Par Eeonon Publishing Group, 1990. p.67-89.

WHITTAKER, R. H. **Communities and ecosystems**. Mac Millan, New York. 1975.

WOODCOCK, C.E.; STRAHLER, A. H.; JUPP, D.L.B. The use of variograms in remote sensing: II. real digital images. **Remote Sens. Environ.**, v. 25, p. 349-379, 1988.

WOODCOCK, C.E.; STRAHLER, A.H. The factor of scale in remote sensing. **Remote Sens. Environ.**, v. 21, p.311-332, 1987.

WOODWELL, G.M. **The role of terrestrial vegetation in the global carbon cycle: measurement by remote sensing**. New York, Wiley, 1984.

XAUD, M.R. **Abordagem multisensor (Landsat e JERS) na caracterização da cobertura vegetal e distribuição de fitomassa em áreas de contato floresta/savana no Estado de Roraima-Brasil**. São José dos Campos. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1998.

YOOL, S.R., STAR, J. L.; ESTES, J.E.; BOTKIN, D.B.; ECKHARDT, D.W.; DAVIS, F.W. Performance analysis of image processing algorithms for classification of natural vegetation in the mountains af Southern California. **Int. J. Remote Sens.**, v. 7, n. 5, p. 683-702, 1986.

ZERBINI, N.J.; SANTOS, J.R. Estimativa de fitomassa aérea em região de floresta tropical com uso de dados TM/Landsat 5 e HRV/SPOT 1. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., Curitiba, 1993. **Anais**. São José dos Campos, INPE, 1993, v. 2, p. 275-280.

ANEXO 1 – LISTA DE ESPÉCIES OCORRENTES EM UMA ÁREA DE FLORESTA PRIMÁRIA, MUNICÍPIO DE MOJU, PARÁ

NOME VULGAR	FAMÍLIA	NOME CIENTÍFICO
Cajueiro	Anacardiaceae	<i>Anacardium</i> sp.
Muiracatiara	Anacardiaceae	<i>Astronium lecointei</i> Ducke
Tatapiririca	Anacardiaceae	<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.
Envira-Preta	Anonaceae	<i>Bocageopsis multiflora</i> (Mart.) R.E.Fr.
Envira-Caçador	Anonaceae	<i>Guatteria</i> sp1
Envirão	Anonaceae	<i>Guatteria</i> sp2
Pau-de-quina	Apocynaceae	<i>Aspidosperma discolor</i> A.DC.
Mangaba	Apocynaceae	<i>Hancornia speciosa</i> Gomez
Morototó	Araliaceae	<i>Didymopanax morototoni</i> Decne. et Planch.
Pará-pará	Bignoniaceae	<i>Jacaranda copaia</i> D.Don
Ipê	Bignoniaceae	<i>Tabebuia serratifolia</i> Rolfe
Sumaúma	Bombacaceae	<i>Ceiba pentandra</i> Gaertn.
Cupuaçurana	Bombacaceae	<i>Matisia paraensis</i> Huber
Freijó	Boraginaceae	<i>Cordia goeldiana</i> Huber
Breu	Burseraceae	<i>Protium apiculatum</i> Swart
Barrote	Burseraceae	<i>Trattinickia burseraefolia</i> Sw.
Piquiarana	Caryocaraceae	<i>Caryocar glabrum</i> (Aubl.) Person
Piquiá	Caryocaraceae	<i>Caryocar villosum</i> Pers.
Embaúba	Cecropiaceae	<i>Cecropia obtusa</i> Trécul
Uiticica	Chrysobalanaceae	<i>Couepia</i> sp.
Macucu	Chrysobalanaceae	<i>Licania latifolia</i> Benth. ex Hook.f.
Anoerá	Chrysobalanaceae	<i>Licania macrophylla</i> Benth.
Tanimbuca	Combretaceae	<i>Buchenavia parvifolia</i> Ducke
Aratacil	Euphorbiaceae	<i>Sagotia racemosa</i> (Baill.) Müll.Arg.
Seringarana	Euphorbiaceae	<i>Sapium marmieri</i> Huber
Louro-tamaquaré	Guttiferae	<i>Caraipa grandifolia</i> Mart.
Bacuri	Guttiferae	<i>Platonia insignis</i> Mart.
Uxizeiro	Humiriaceae	<i>Eudopleura uchi</i> (Huber) Cuatrec.
Uxirana	Humiriaceae	<i>Sacoglottis amazonica</i> Benth.
Paruru	Humiriaceae	<i>Vantanea parviflora</i> Lam.
Louro-amarelo	Lauraceae	<i>Aniba burchellii</i> Kosterm.
Pirarucu	Lauraceae	<i>Licaria canella</i> (Meisn.) Kosterm.
Louro-vermelho	Lauraceae	<i>Nectandra rubra</i> (Mez) C.K.Allen
Louro-abacate	Lauraceae	<i>Ocotea myriantha</i> Mez
Tauari	Lecythidaceae	<i>Couratari guianensis</i> Aubl.
Matá-matá	Lecythidaceae	<i>Eschweilera amazonica</i> Knuth
Matá-matá-preto	Lecythidaceae	<i>Eschweilera blanchetiana</i> Miers
Matá-matá-branco	Lecythidaceae	<i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) S.A.Mori
Matá-matá-jibóia	Lecythidaceae	<i>Eschweilera</i> sp.
Jarana	Lecythidaceae	<i>Holopyxidium jarana</i> Ducke
Sapucaia	Lecythidaceae	<i>Lecythis usitata</i> Miers
Copaíba	Caesalpinaceae	<i>Copaifera multijuga</i> Hayne
Jatobá	Caesalpinaceae	<i>Hymenaea courbaril</i> L.
Jutaí-mirim	Caesalpinaceae	<i>Hymenaea parvifolia</i> Huber
Roxinho	Caesalpinaceae	<i>Peltogyne</i> sp.
Tachi	Caesalpinaceae	<i>Sclerolobium</i> cf. <i>paraense</i> Huber
Tachi-branco	Caesalpinaceae	<i>Tachigalia alba</i> Ducke
Acapu	Caesalpinaceae	<i>Vouacapoua americana</i> Aubl.
Angelim-pedra	Mimosaceae	<i>Dinizia excelsa</i> Ducke
Tamborim	Mimosaceae	<i>Enterolobium maximum</i> Ducke
Orelha-de-macaco	Mimosaceae	<i>Enterolobium schomburgkii</i> Benth.

## Continuação.

NOME VULGAR	FAMÍLIA	NOME CIENTÍFICO
Timborana	Mimosaceae	<i>Enterolobium</i> sp.
Ingazeiro	Mimosaceae	<i>Inga</i> sp.
Faveira	Mimosaceae	<i>Parkia auriculata</i> Spruce ex Benth.
Faveira-branca	Mimosaceae	<i>Parkia multijuga</i> Benth.
Boloteiro	Mimosaceae	<i>Parkia pendula</i> Benth. ex Walp.
Melancieira	Fabaceae	<i>Alexa grandiflora</i> Ducke
Sucupira-babona	Fabaceae	<i>Bowdichia nitida</i> Spruce ex Benth.
Espeteiro	Fabaceae	<i>Clitoria</i> sp.
Cumaru	Fabaceae	<i>Dipteryx odorata</i> Willd.
Angelim-vermelho	Fabaceae	<i>Hymenolobium excelsum</i> Ducke
Mututi	Fabaceae	<i>Pterocarpus oncylocalix</i> Benth.
Fava-amargosa	Fabaceae	<i>Vaitaia sericea</i> Ducke
Pau-santo	Fabaceae	<i>Zollernia paraensis</i> Huber
Carrapixeiro	Melastomataceae	<i>indeterminada</i>
Andiroba	Meliaceae	<i>Carapa guianensis</i> Aubl.
Tatajuba	Moraceae	<i>Bagassa guianensis</i> Aubl.
Mururé	Moraceae	<i>Brosimum acutifolium</i> Huber
Amapá	Moraceae	<i>Brosimum utile</i> (H.B.K.) Pittier ssp. <i>ovatifolium</i> (Ducke) C.C.Berg
Caxinguba	Moraceae	<i>Ficus anthelminthica</i> Raeusch.
Gameleira	Moraceae	<i>Ficus maxima</i> Mill.
Apuí	Moraceae	<i>Ficus nymphaeaeifolia</i> Mill.
Virola	Myristicaceae	<i>Virola melinonii</i> (Benoist) A.C.Sm.
Goiabão	Myrtaceae	<i>Myrciaria floribunda</i> Berg
Acariquara	Oleaceae	<i>Minquartia guianensis</i> Aubl.
Louro-faia	Proteaceae	<i>Roupala</i> sp.
Cavalo-melado	Rubiaceae	<i>Calycophyllum spruceanum</i> Benth.
Pitomba	Sapindaceae	<i>Talisia longifolia</i> Radlk.
Maparajuba	Sapotaceae	<i>Manilkara amazonica</i> (Huber) Standl.
Maçaranduba	Sapotaceae	<i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Standl.
Guajará-abil	Sapotaceae	<i>Pouteria guianensis</i> Aubl.
Abiurana	Sapotaceae	<i>Pouteria</i> sp1
Casca-seca	Sapotaceae	<i>Pouteria</i> sp2
Guajará-bolacha	Sapotaceae	<i>Pouteria</i> sp3
Guajará-duro	Sapotaceae	<i>Pouteria</i> sp4
Guajará-jibóia	Sapotaceae	<i>Pouteria</i> sp5
Coco-pau	Sapotaceae	<i>Pouteria</i> sp6
Marupá	Simaroubaceae	<i>Simaruba amara</i> Aubl.
Capoteiro	Sterculiaceae	<i>Sterculia speciosa</i> K.Schum.
Cacau-bravo	Sterculiaceae	<i>Theobroma speciosum</i> Willd. ex Mart.
Pente-de-macaco	Tiliaceae	<i>Apeiba Echinata</i> Gaertn.
Quaruba	Vochysiaceae	<i>Vochysia maxima</i> Ducke

**ANEXO 2 – ESTIMATIVA DE DENSIDADE, ÁREA BASAL, BIOMASSA E VOLUME PARA AS 20 UNIDADES DE AMOSTRAS INVENTARIADAS EM UMA FLORESTA PRIMÁRIA, MOJU, PARÁ**

U.A.	ESTRATOS	DENSIDADE (n° ind/ha)			ÁREA BASAL (m²/ha)			BIOMASSA (ton/ha)			VOLUME (m³/ha)		
		10≤DAP<40 cm	DAP ≥ 40cm	DAP ≥ 10cm	10≤DAP<40 cm	DAP ≥ 40cm	DAP ≥ 10cm	10≤DAP<40 cm	DAP ≥ 40cm	DAP ≥ 10cm	10≤DAP<40 cm	DAP ≥ 40cm	DAP ≥ 10cm
1	1	78	13	91	7,66	6,23	13,89	99,37	85,68	185,06	128,54	116,77	245,31
	2	211	8	219	7,65	3,48	11,13	68,43	31,18	99,61	85,11	41,80	126,91
	3	100	0	100	1,87	0,00	1,87	10,60	0,00	10,60	12,71	0,00	12,71
2	1	11	19	30	0,67	12,16	12,82	7,41	188,07	195,48	9,37	260,83	270,20
	2	222	11	233	11,10	2,49	13,58	107,44	24,55	132,00	135,58	32,19	167,78
	3	100	0	100	2,11	0,00	2,11	10,82	0,00	10,82	13,02	0,00	13,02
3	1	44	17	61	6,25	10,07	16,32	69,38	117,34	186,72	89,95	159,54	249,49
	2	156	25	181	5,39	8,43	13,82	45,69	78,12	123,81	56,63	103,73	160,35
	3	89	0	89	2,31	0,00	2,31	10,06	0,00	10,06	12,13	0,00	12,13
4	1	44	28	72	1,99	10,66	12,65	22,95	154,53	177,48	28,87	208,83	237,70
	2	200	14	214	7,28	3,82	11,10	65,84	36,78	102,62	81,97	48,50	130,46
	3	22	1	23	0,33	0,22	0,55	1,96	1,18	3,14	2,34	1,52	3,86
5	1	44	14	58	3,81	7,39	11,19	41,68	85,62	127,29	53,28	116,24	169,53
	2	344	7	351	14,51	1,41	15,92	139,57	13,61	153,18	175,39	17,76	193,15
	3	44	0	44	0,81	0,00	0,81	4,23	0,00	4,23	5,06	0,00	5,06
6	1	11	11	22	1,25	8,21	9,47	13,62	96,65	110,27	17,53	133,10	150,63
	2	133	17	150	7,12	5,51	12,63	61,53	52,37	113,90	77,51	69,51	147,02
	3	122	0	122	2,87	0,00	2,87	13,01	0,00	13,01	15,65	0,00	15,65
7	1	11	15	26	0,48	7,76	8,24	5,41	112,36	117,77	6,78	153,73	160,51
	2	200	13	213	7,94	3,07	11,01	76,44	29,29	105,73	96,20	38,40	134,60
	3	56	0	56	1,22	0,00	1,22	4,35	0,00	4,35	5,18	0,00	5,18
8	1	33	13	46	2,32	9,06	11,38	25,49	108,85	134,34	32,47	149,09	181,56
	2	300	11	311	12,00	2,59	14,59	107,87	24,57	132,45	135,00	32,26	167,26
	3	44	0	44	0,96	0,00	0,96	3,62	0,00	3,62	4,32	0,00	4,32
9	1	22	17	39	1,55	7,15	8,71	17,12	80,57	97,70	21,75	108,35	130,09
	2	244	15	259	8,52	4,49	13,01	80,63	44,72	125,34	100,64	59,16	159,80
	3	22	0	22	0,67	0,00	0,67	3,49	0,00	3,49	4,25	0,00	4,25
10	1	11	11	22	0,78	3,89	4,67	9,03	51,95	60,98	11,48	70,03	81,52
	2	78	17	95	3,04	4,58	7,62	27,50	43,23	70,73	34,38	56,92	91,30
	3	78	0	78	2,10	0,00	2,10	11,31	0,00	11,31	13,70	0,00	13,70

Continuação.

U.A	ESTRATOS	DENSIDADE (nº ind/ha)			ÁREA BASAL (m²/ha)			BIOMASSA (ton/ha)			VOLUME (m³/ha)		
11	1	11	22	<b>33</b>	0,94	10,06	<b>11,00</b>	10,29	148,25	<b>158,53</b>	13,13	202,30	<b>215,43</b>
	2	300	11	<b>311</b>	13,29	2,42	<b>15,71</b>	116,57	23,53	<b>140,10</b>	146,01	30,80	<b>176,81</b>
	3	33	0	<b>33</b>	0,50	0,00	<b>0,50</b>	2,93	0,00	<b>2,93</b>	3,49	0,00	<b>3,49</b>
12	1	11	11	<b>22</b>	1,25	5,98	<b>7,23</b>	13,62	77,86	<b>91,48</b>	17,53	106,60	<b>124,13</b>
	2	222	25	<b>247</b>	9,80	7,64	<b>17,44</b>	83,47	68,70	<b>152,16</b>	104,59	90,75	<b>195,34</b>
	3	200	0	<b>200</b>	3,21	0,00	<b>3,21</b>	14,80	0,00	<b>14,80</b>	17,67	0,00	<b>17,67</b>
13	1	22	20	<b>42</b>	0,62	6,15	<b>6,77</b>	7,00	89,39	<b>96,39</b>	8,68	120,36	<b>129,04</b>
	2	289	13	<b>302</b>	13,46	2,98	<b>16,44</b>	113,02	28,38	<b>141,40</b>	141,77	37,22	<b>178,99</b>
	3	167	0	<b>167</b>	3,82	0,00	<b>3,82</b>	19,47	0,00	<b>19,47</b>	23,47	0,00	<b>23,47</b>
14	1	44	21	<b>65</b>	4,25	8,25	<b>12,50</b>	54,67	109,78	<b>164,45</b>	70,62	148,35	<b>218,96</b>
	2	133	9	<b>142</b>	4,01	2,51	<b>6,52</b>	38,31	24,38	<b>62,69</b>	47,58	32,14	<b>79,73</b>
	3	11	0	<b>11</b>	0,51	0,00	<b>0,51</b>	2,62	0,00	<b>2,62</b>	3,22	0,00	<b>3,22</b>
15	1	11	15	<b>26</b>	0,19	4,19	<b>4,38</b>	2,15	56,01	<b>58,16</b>	2,62	74,77	<b>77,39</b>
	2	56	4	<b>60</b>	3,38	0,77	<b>4,15</b>	27,76	7,76	<b>35,53</b>	35,08	10,13	<b>45,21</b>
	3	100	0	<b>100</b>	1,95	0,00	<b>1,95</b>	10,56	0,00	<b>10,56</b>	12,68	0,00	<b>12,68</b>
16	1	44	22	<b>66</b>	5,45	8,36	<b>13,81</b>	72,57	117,02	<b>189,59</b>	94,26	158,45	<b>252,71</b>
	2	278	14	<b>292</b>	12,44	3,60	<b>16,04</b>	110,29	34,83	<b>145,12</b>	138,24	45,88	<b>184,12</b>
	3	78	0	<b>78</b>	1,34	0,00	<b>1,34</b>	7,67	0,00	<b>7,67</b>	9,18	0,00	<b>9,18</b>
17	1	22	18	<b>40</b>	1,55	9,71	<b>11,26</b>	17,07	128,23	<b>145,30</b>	21,67	175,07	<b>196,74</b>
	2	278	14	<b>292</b>	11,54	3,97	<b>15,51</b>	111,18	39,55	<b>150,73</b>	139,43	52,21	<b>191,64</b>
	3	44	0	<b>44</b>	0,71	0,00	<b>0,71</b>	3,92	0,00	<b>3,92</b>	4,68	0,00	<b>4,68</b>
18	1	100	15	<b>115</b>	7,02	7,08	<b>14,10</b>	89,71	102,22	<b>191,93</b>	114,97	138,95	<b>253,92</b>
	2	200	16	<b>216</b>	10,20	3,75	<b>13,95</b>	100,13	36,16	<b>136,30</b>	126,49	47,45	<b>173,94</b>
	3	100	0	<b>100</b>	1,72	0,00	<b>1,72</b>	8,84	0,00	<b>8,84</b>	10,55	0,00	<b>10,55</b>
19	1	122	18	<b>140</b>	8,11	5,36	<b>13,47</b>	98,30	81,40	<b>179,70</b>	125,75	109,47	<b>235,22</b>
	2	267	10	<b>277</b>	8,81	2,17	<b>10,98</b>	79,61	20,55	<b>100,16</b>	98,83	26,87	<b>125,70</b>
	3	56	0	<b>56</b>	0,89	0,00	<b>0,89</b>	5,22	0,00	<b>5,22</b>	6,24	0,00	<b>6,24</b>
20	1	22	15	<b>37</b>	2,90	9,85	<b>12,76</b>	31,45	116,87	<b>148,32</b>	40,65	159,77	<b>200,43</b>
	2	267	24	<b>291</b>	9,94	8,26	<b>18,21</b>	87,96	79,93	<b>167,89</b>	109,39	106,66	<b>216,05</b>
	3	22	0	<b>22</b>	0,46	0,00	<b>0,46</b>	1,49	0,00	<b>1,49</b>	1,77	0,00	<b>1,77</b>

## ANEXO 3 – RESULTADO DA REGRESSÃO STEPWISE PARA ESTIMATIVA DE DENSIDADE

## - CONJUNTO DE DADOS GERAIS (todos estratos).

VARIÁVEL DEPENDENTE: DENSIDADE (DEN)

R MÚLTIPLO: 0,450644342

R<sup>2</sup> MÚLTIPLO: 0,203080323R<sup>2</sup> AJUSTADO: 0,158807007

Nº DE CASOS: 20

F ( 1, 18) = 4,586969 p &lt; 0,046145

ERRO PADRÃO DA ESTIM.: 84,963774019

N=20	$\beta$	ERRO. PAD. DE $\beta$	t(18)	PROB.
Interc.	1277,94	428,951	2,97921	0,008041
REF4	-8117,39	3790,124	-2,14172	0,046145

## ANÁLISE DE VARIÂNCIA

EFEITOS	GL	SQ	SQM	F	PROB.
Regressão	1	33112,6	33112,61	4,586969	0,046145
Resíduo	18	129939,2	7218,84		
Total		163051,8			

## - ESTRATOS SUPERIOR + INTERMEDIÁRIO

VARIÁVEL DEPENDENTE: DENSIDADE (DEN)

R MÚLTIPLO: 0,505669722

R<sup>2</sup> MÚLTIPLO: 0,255701868R<sup>2</sup> AJUSTADO: 0,214351972

Nº DE CASOS: 20

F ( 1, 18) = 6,183857 p &lt; 0,022931

ERRO PADRÃO DA ESTIM.: 78,449400955

N=20	$\beta$	ERRO. PAD. DE $\beta$	t(18)	PROB.
Interc.	1571,1	517,224	3,03758	0,007082
MED	-11340,6	4560,438	-2,48674	0,022931

## ANÁLISE DE VARIÂNCIA

EFEITOS	GL	SQ	SQM	F	PROB.
Regressão	1	38057,4	38057,37	6,183857	0,022931
Resíduo	18	110777,6	6154,31		
Total		148834,9			

### - ESTRATOS SUPERIOR

VARIÁVEL DEPENDENTE: DENSIDADE (DEN)

R MÚLTIPLO: 0,471598884

R<sup>2</sup> MÚLTIPLO: 0,222405508

R<sup>2</sup> AJUSTADO: 0,179205814

Nº DE CASOS: 20

F ( 1, 18) = 5,148312 p < 0,035801

ERRO PADRÃO DA ESTIM.: 29,160379123

N=20	$\beta$	ERRO. PAD. DE $\beta$	t(18)	PROB.
Interc.	488,84	192,257	2,54263	0,020412
MED	-3846,29	1695,158	-2,26899	0,035801

#### ANÁLISE DE VARIÂNCIA

EFEITOS	GL	SQ	SQM	F	PROB.
Regressão	1	4377,75	4377,752	5,148312	0,035801
Resíduo	18	15305,90	850,328		
Total		19683,65			

### - ESTRATO INTERMEDIÁRIO

VARIÁVEL DEPENDENTE: DENSIDADE (DEN)

R MÚLTIPLO: 0,577603805

R<sup>2</sup> MÚLTIPLO: 0,333626155

R<sup>2</sup> AJUSTADO: 0,255229232

Nº DE CASOS: 20

F ( 2, 17) = 4,255603 p < 0,031740

ERRO PADRÃO DA ESTIM.: 66,324215618

N=20	$\beta$	ERRO. PAD. DE $\beta$	t (17)	PROB.
Interc.	-36,40	596,438	-,06102	0,952052
REF4	-9008,88	3254,525	-2,76811	0,013159
SMA	11338,02	5695,320	1,99076	0,052832

#### ANÁLISE DE VARIÂNCIA

EFEITOS	GL	SQ	SQM	F	PROB.
Regressão	2	37440,0	18719,98	4,255603	0,031740
Resíduo	17	74781,3	4398,90		
Total		112221,3			

## ANEXO 4 – RESULTADO DA REGRESSÃO STEPWISE PARA ESTIMATIVA DE ÁREA BASAL

## - CONJUNTO DE DADOS GERAIS (todos estratos).

VARIÁVEL DEPENDENTE: ÁREA BASAL (AB)

R MÚLTIPLO: 0,775244892

R<sup>2</sup> MÚLTIPLO: 0,601004643R<sup>2</sup> AJUSTADO: 0,578838235

Nº DE CASOS: 20

F (1, 18) = 27,11331 p &lt; 0,000059

ERRO PADRÃO DA ESTIM.: 3,612384668

N=20	$\beta$	ERRO. PAD. DE $\beta$	t(18)	PROB.
Interc.	120,200	18,2376	6,59078	0,000003
REF4	-839,083	161,1438	-5,20704	0,000059

## ANÁLISE DE VARIÂNCIA

EFEITOS	GL	SQ	SQM	F	PROB.
Regressão	1	353,8103	353,8103	27,11331	0,000059
Resíduo	18	234,8878	13,0493		
Total		588,6981			

## - ESTRATOS SUPERIOR + INTERMEDIÁRIO

VARIÁVEL DEPENDENTE: ÁREA BASAL (AB)

R MÚLTIPLO: 0,783148816

R<sup>2</sup> MÚLTIPLO: 0,613322068R<sup>2</sup> AJUSTADO: 0,591839961

Nº DE CASOS: 20

F (1, 18) = 28,55037 p &lt; 0,000044

ERRO PADRÃO DA ESTIM.: 3,606207924

N=20	$\beta$	ERRO. PAD. DE $\beta$	t(18)	PROB.
Interc.	120,985	18,2064	6,64520	0,000003
REF4	-859,560	160,8683	-5,34325	0,000044

## ANÁLISE DE VARIÂNCIA

EFEITOS	GL	SQ	SQM	F	PROB.
Regressão	1	371,2900	371,2900	28,55037	0,000044
Resíduo	18	234,0852	13,0047		
Total		605,3752			



## - ESTRATOS SUPERIOR

VARIÁVEL DEPENDENTE: ÁREA BASAL (AB)

R MÚLTIPLO: 0,769407075

R<sup>2</sup> MÚLTIPLO: 0,591987247R<sup>2</sup> AJUSTADO: 0,569319871

Nº DE CASOS: 20

F (1, 18) = 26,11627 p &lt; 0,000073

ERRO PADRÃO DA ESTIM.: 2,142999680

N=20	$\beta$	ERRO. PAD. DE $\beta$	t(18)	PROB.
Interc.	82,994	14,1290	5,87405	0,000015
REF4	-636,641	124,5773	-5,11041	0,000073

## ANÁLISE DE VARIÂNCIA

EFEITOS	GL	SQ	SQM	F	PROB.
Regressão	1	119,9376	119,9376	26,11627	0,000073
Resíduo	18	82,6641	119,9376		
Total		202,6017			

## - ESTRATOS INTERMEDIÁRIO

VARIÁVEL DEPENDENTE: ÁREA BASAL (AB)

R MÚLTIPLO: 0,684770670

R<sup>2</sup> MÚLTIPLO: 0,468910871R<sup>2</sup> AJUSTADO: 0,406429797

Nº DE CASOS: 20

F (2, 17) = 7,504847 p &lt; 0,004612

ERRO PADRÃO DA ESTIM.: 2,844507211

N=20	$\beta$	ERRO. PAD. DE $\beta$	t(17)	PROB.
Interc.	45,73	14,91	3,06792	0,006967
REF4	-333,30	128,13	-2,60122	0,018633
VAR	53691,68	21635,14	2,48169	0,023823

## ANÁLISE DE VARIÂNCIA

EFEITOS	GL	SQ	SQM	F	PROB.
Regressão	2	121,4467	60,72337	7,504847	0,004612
Resíduo	17	137,5508	8,09122		
Total		258,9975			

## ANEXO 5 – RESULTADO DA REGRESSÃO STEPWISE PARA ESTIMATIVA DE BIOMASSA.

## - CONJUNTO DE DADOS GERAIS (todos estratos).

VARIÁVEL DEPENDENTE: BIOMASSA (BIO)

R MÚLTIPLO: 0,890369509

R<sup>2</sup> MÚLTIPLO: 0,792757863R<sup>2</sup> AJUSTADO: 0,781244411

Nº DE CASOS: 20

F ( 1, 18) = 68,85493 p &lt; 0,000000

ERRO PADRÃO DA ESTIM.: 28,905561716

N=20	$\beta$	ERRO. PAD. DE $\beta$	t(18)	PROB.
Interc.	1477,8	145,934	10,12637	0,000000
REF4	-10699,6	1289,440	-8,29789	0,000000

## ANÁLISE DE VARIÂNCIA

EFEITOS	GL	SQ	SQM	F	PROB.
Regressão	1	57530,46	57530,46	68,85493	0,000000
Resíduo	18	15039,57	835,53		
Total		72570,02			

## ANÁLISE DE RESÍDUOS

CASO	VALORES OBSERVADOS	VALORES ESTIMADOS	RESÍDUO
1	295,2653	301,0874	-5,8221
2	338,3006	381,2490	-42,9484
3	320,5909	314,4406	6,1504
4	283,2428	272,1342	11,1085
5	284,7058	247,6428	37,0630
6	237,1697	236,5045	0,6652
7	227,8437	223,1514	4,6923
8	270,4069	240,9662	29,4407
9	226,5285	194,3587	32,1698
10	143,0191	218,6468	-75,6277
11	301,5673	310,0216	-8,4543
12	258,4385	238,7621	19,6764
13	257,2535	238,7621	18,4914
14	229,7550	220,8937	8,8613
15	104,2424	156,3750	-52,1326
16	342,3783	327,7830	14,5953
17	299,9535	305,5278	-5,5743
18	337,0645	325,5361	11,5284
19	285,0801	287,7664	-2,6862
20	317,7053	318,9023	-1,1970
Mínimo	104,2424	156,3750	-75,6277
Máximo	342,3783	381,2490	37,0630
Média	268,0256	268,0256	0,0000

## - ESTRATOS SUPERIOR + INTERMEDIÁRIO

VARIÁVEL DEPENDENTE: BIOMASSA (BIO)

R MÚLTIPLO: 0,881880127

R<sup>2</sup> MÚLTIPLO: 0,777712558

R<sup>2</sup> AJUSTADO: 0,765363256

Nº DE CASOS: 20

F ( 1, 18) = 62,97623 p < 0,000000

ERRO PADRÃO DA ESTIM.: 30,454914452

N=20	$\beta$	ERRO. PAD. DE $\beta$	t(18)	PROB.
Interc.	1479,4	153,756	9,62168	0,000000
REF4	-10781,2	1358,554	-7,93576	0,000000

### ANÁLISE DE VARIÂNCIA

EFEITOS	GL	SQ	SQM	F	PROB.
Regressão	1	58410,57	58410,57	62,97623	0,000000
Resíduo	18	16695,03	927,50		
Total		75105,60			

### ANÁLISE DE RESÍDUOS

CASO	VALORES OBSERVADOS	VALORES ESTIMADOS	RESÍDUO
1	284,6691	293,7323	-9,0632
2	327,4760	374,5047	-47,0288
3	310,5318	307,1872	3,3446
4	280,0992	264,5585	15,5407
5	280,4771	239,8804	40,5966
6	224,1623	228,6573	-4,4950
7	223,4937	215,2024	8,2913
8	266,7878	233,1530	33,6348
9	223,0401	186,1903	36,8498
10	131,7121	210,6635	-78,9515
11	298,6395	302,7346	-4,0951
12	243,6404	230,9321	12,7083
13	237,7828	230,9321	6,8507
14	227,1332	212,9276	14,2056
15	93,6854	147,9172	-54,2318
16	334,7106	320,6313	14,0793
17	296,0323	298,2065	-2,1742
18	328,2240	318,3672	9,8568
19	279,8614	280,3098	-0,4484
20	316,2123	311,6830	4,5294
Mínimo	93,6854	147,9172	-78,9515
Máximo	334,7106	374,5047	40,5966
Média	260,4185	260,4185	0,0000

## - ESTRATOS SUPERIOR

VARIÁVEL DEPENDENTE: BIOMASSA (BIO)

R MÚLTIPLO: 0,913965401

R<sup>2</sup> MÚLTIPLO: 0,835332755R<sup>2</sup> AJUSTADO: 0,815960138

Nº DE CASOS: 20

F ( 2, 17) = 43,11925 p &lt; 0,000000

ERRO PADRÃO DA ESTIM.: 18,934349680

N=20	$\beta$	ERRO. PAD. DE $\beta$	t(17)	PROB.
Interc.	1296,5	126,565	10,24390	0,000000
MED	-9801,2	1102,256	-8,89199	0,000000
REF3	-15905,7	5054,291	-3,14697	0,005881

## ANÁLISE DE VARIÂNCIA

EFEITOS	GL	SQ	SQM	F	PROB.
Regressão	2	30917,33	15458,67	43,11925	0,000000
Resíduo	17	6094,66	358,51		
Total		37011,99			

## ANÁLISE DE RESÍDUOS

CASO	VALORES OBSERVADOS	VALORES ESTIMADOS	RESÍDUO
1	185,0553	164,8027	20,2526
2	195,4800	204,2429	-8,7629
3	186,7219	164,6514	22,0705
4	177,4789	172,6497	4,8292
5	127,2950	134,0469	-6,7519
6	110,2650	105,0982	5,1668
7	117,7667	116,1740	1,5927
8	134,3395	123,6231	10,7164
9	97,6952	73,7594	23,9358
10	60,9799	93,2859	-32,3060
11	158,5347	187,7440	-29,2093
12	91,4771	100,2526	-8,7756
13	96,3876	131,8356	-35,4480
14	164,4459	139,0885	25,3574
15	58,1584	61,7428	-3,5845
16	189,5910	196,5003	-6,9093
17	145,2999	146,2361	-0,9361
18	191,9277	182,1505	9,7772
19	179,6994	163,7211	15,9782
20	148,3239	155,3172	-6,9932
Mínimo	58,1584	61,7428	-35,4480
Máximo	195,4800	204,2429	25,3574
Média	140,8461	140,8461	0,0000

## - ESTRATOS INTERMEDIÁRIO

VARIÁVEL DEPENDENTE: BIOMASSA (BIO)

R MÚLTIPLO: 0,710906663

R<sup>2</sup> MÚLTIPLO: 0,505388283

R<sup>2</sup> AJUSTADO: 0,447198669

Nº DE CASOS: 20

F ( 2, 17) = 8,685198      p < 0,002519

ERRO PADRÃO DA ESTIM.: 25,109451997

N=20	$\beta$	ERRO. PAD. DE $\beta$	t(17)	PROB.
Interc.	354,6	95,7	3,70512	0,001758
VEG	-508,8	168,0	-3,02958	0,007562
VAR	480309,7	190196,0	2,52534	0,021786

## ANÁLISE DE VARIÂNCIA

EFEITOS	GL	SQ	SQM	F	PROB.
Regressão	2	10951,77	5475,883	8,685198	0,002519
Resíduo	17	10718,24	630,485		
Total		21670,00			

## ANEXO 6 – RESULTADO DA REGRESSÃO STEPWISE PARA ESTIMATIVA DE VOLUME.

## - CONJUNTO DE DADOS GERAIS (todos estratos).

VARIÁVEL DEPENDENTE: VOLUME (VOL)

R MÚLTIPLO: 0,898490118

R<sup>2</sup> MÚLTIPLO: 0,807284493R<sup>2</sup> AJUSTADO: 0,796578076

Nº DE CASOS: 20

F ( 1, 18) = 75,40193 p &lt;0,000000

ERRO PADRÃO DA ESTIM.: 36,717862978

N=20	$\beta$	ERRO. PAD. DE $\beta$	t(18)	PROB.
Interc.	1958,6	185,375	10,56553	0,000000
REF4	-14222,9	1637,936	-8,68343	0,000000

## ANÁLISE DE VARIÂNCIA

EFEITOS	GL	SQ	SQM	F	PROB.
Regressão	1	101657,0	101657,0	75,40193	0,000000
Resíduo	18	24267,6	1348,2		
Total		125924,6			

## ANÁLISE DE RESÍDUOS

CASO	VALORES OBSERVADOS	VALORES ESTIMADOS	RESÍDUO
1	384,9312	394,4238	-9,4926
2	450,9956	500,9818	-49,9861
3	421,9787	412,1740	9,8047
4	372,0246	355,9366	16,0880
5	367,7323	323,3804	44,3519
6	313,3033	308,5744	4,7289
7	300,2949	290,8242	9,4707
8	353,1403	314,5053	38,6349
9	294,1456	252,5504	41,5952
10	186,5188	284,8363	-98,3175
11	395,7281	406,2999	-10,5718
12	337,1417	311,5754	25,5663
13	331,5013	311,5754	19,9259
14	301,9093	287,8232	14,0862
15	135,2789	202,0591	-66,7802
16	446,0061	429,9099	16,0962
17	393,0608	400,3263	-7,2655
18	438,4089	426,9231	11,4858
19	367,1577	376,7163	-9,5586
20	418,2425	418,1049	0,1375
Mínimo	135,2789	202,0591	-98,3175
Máximo	450,9956	500,9818	44,3519
Média	350,4750	350,4750	0,0000

## - ESTRATOS SUPERIOR + INTERMEDIÁRIO

VARIÁVEL DEPENDENTE: VOLUME (VOL)

R MÚLTIPLO: 0,890581222

R<sup>2</sup> MÚLTIPLO: 0,793134912

R<sup>2</sup> AJUSTADO: 0,781642407

Nº DE CASOS: 20

F ( 1, 18) = 69,01323 p < 0,000000

ERRO PADRÃO DA ESTIM.: 38,652267938

N=20	$\beta$	ERRO. PAD. DE $\beta$	t(18)	PROB.
Interc.	1960,9	195,141	10,04843	0,000000
REF4	-14323,9	1724,228	-8,30742	0,000000

## ANÁLISE DE VARIÂNCIA

EFEITOS	GL	SQ	SQM	F	PROB.
Regressão	1	103105,6	103105,6	69,01323	0,000000
Resíduo	18	26892,0	1494,0		
Total		129997,6			

## ANÁLISE DE RESÍDUOS

CASO	VALORES OBSERVADOS	VALORES ESTIMADOS	RESÍDUO
1	372,2202	385,5947	-13,375
2	437,9775	492,9092	-54,932
3	409,8448	403,4709	6,374
4	368,1654	346,8342	21,331
5	362,6757	314,0469	48,629
6	297,6505	299,1357	-1,485
7	295,1123	281,2595	13,853
8	348,8195	305,1088	43,711
9	289,8982	242,7139	47,184
10	172,8159	275,2292	-102,413
11	392,2361	397,5551	-5,319
12	319,4738	302,1581	17,316
13	308,0294	302,1581	5,871
14	298,6919	278,2372	20,455
15	122,6006	191,8642	-69,264
16	436,8276	421,3327	15,495
17	388,3837	391,5391	-3,155
18	427,8607	418,3247	9,536
19	360,9200	367,7614	-6,841
20	416,4734	409,4439	7,029
Mínimo	122,6006	191,8642	-102,413
Máximo	437,9775	492,9092	48,629
Média	341,3339	341,3339	0,000

## - ESTRATOS SUPERIOR

VARIÁVEL DEPENDENTE: VOLUME (VOL)

R MÚLTIPLO: 0,920199090

R<sup>2</sup> MÚLTIPLO: 0,846766365R<sup>2</sup> AJUSTADO: 0,828738879

Nº DE CASOS: 20

F ( 2, 17) = 46,97085 p &lt;0,000000

ERRO PADRÃO DA ESTIM.: 24,389410280

N=20	$\beta$	ERRO. PAD. DE $\beta$	t(17)	PROB.
Interc.	1743,5	163,028	10,69417	0,000000
MED	-13187,3	1419,820	-9,28798	0,000000
REF3	-21226,7	6510,452	-3,26041	0,004607

## ANÁLISE DE VARIÂNCIA

EFEITOS	GL	SQ	SQM	F	PROB.
Regressão	2	55880,59	27940,30	46,97085	0,000000
Resíduo	17	10112,34	594,84		
Total		65992,93			

## ANÁLISE DE RESÍDUOS

CASO	VALORES OBSERVADOS	VALORES ESTIMADOS	RESÍDUO
1	245,3079	221,2414	24,0666
2	270,2015	274,3069	-4,1054
3	249,4918	220,8934	28,5984
4	237,7021	231,6788	6,0232
5	169,5265	179,8844	-10,3579
6	150,6270	140,9591	9,6679
7	160,5118	155,7649	4,7469
8	181,5568	166,0281	15,5287
9	130,0939	98,7696	31,3243
10	81,5156	125,0415	-43,5259
11	215,4284	252,0605	-36,6321
12	124,1329	134,3190	-10,1862
13	129,0413	176,7402	-47,6989
14	218,9633	186,4987	32,4646
15	77,3905	82,9386	-5,5481
16	252,7086	263,7932	-11,0847
17	196,7400	196,2355	0,5045
18	253,9208	244,7990	9,1218
19	235,2203	219,7386	15,4817
20	200,4261	208,8156	-8,3895
Mínimo	77,3905	82,9386	-47,6989
Máximo	270,2015	274,3069	32,4646
Média	189,0254	189,0254	0,0000



## - ESTRATOS INTERMEDIÁRIO

VARIÁVEL DEPENDENTE: VOLUME (VOL)

R MÚLTIPLO: 0,714386842

R<sup>2</sup> MÚLTIPLO: 0,510348560

R<sup>2</sup> AJUSTADO: 0,452742509

Nº DE CASOS: 20

F ( 2, 17) = 8,859287 p < 0,002312

ERRO PADRÃO DA ESTIM.: 31,812699879

N=20	$\beta$	ERRO. PAD. DE $\beta$	t(17)	PROB.
Interc.	451,9	121,3	3,72661	0,001678
VEG	-649,3	212,8	-3,05151	0,007216
VAR	616909,7	240970,9	2,56010	0,020284

## ANÁLISE DE VARIÂNCIA

EFEITOS	GL	SQ	SQM	F	PROB.
Regressão	2	17932,05	8966,023	8,859287	0,002312
Resíduo	17	17204,81	1012,048		
Total		35136,86			

## ANEXO 7 – RESULTADO DA REGRESSÃO STEPWISE PARA ESTIMATIVA DE DIVERSIDADE DE ESPÉCIES

### - CONJUNTO DE DADOS GERAIS (todos estratos).

VARIÁVEL DEPENDENTE: DIVERSIDADE (DIV)

R MÚLTIPLO: 0,582410193

R<sup>2</sup> MÚLTIPLO: 0,339201633

R<sup>2</sup> AJUSTADO: 0,302490612

Nº DE CASOS: 20

F ( 1, 18) = 9,239777 p <0,007049

ERRO PADRÃO DA ESTIM.: 0,029817878

N=20	$\beta$	ERRO. PAD. DE $\beta$	t(18)	PROB.
Interc.	0,270389	0,196592	1,375382	0,185890
MED	5,268954	1,733380	3,039700	0,007049

### ANÁLISE DE VARIÂNCIA

EFEITOS	GL	SQ	SQM	F	PROB.
Regressão	1	0,008215	0,008215	9,239777	0,007049
Resíduo	18	0,016004	0,000889		
Total		0,024219			

### - ESTRATOS SUPERIOR + INTERMEDIÁRIO

VARIÁVEL DEPENDENTE: DIVERSIDADE (DIV)

R MÚLTIPLO: 0,373933561

R<sup>2</sup> MÚLTIPLO: 0,139826308

R<sup>2</sup> AJUSTADO: 0,092038880

Nº DE CASOS: 20

F ( 1, 18) = 2,926006 p <0,104342

ERRO PADRÃO DA ESTIM.: 0,033340434

N=20	$\beta$	ERRO. PAD. DE $\beta$	t(18)	PROB.
Interc.	0,372800	0,295708	1,260705	0,223513
MED	4,452039	2,602683	1,710557	0,104342

### ANÁLISE DE VARIÂNCIA

EFEITOS	GL	SQ	SQM	F	PROB.
Regressão	1	0,003253	0,003253	2,926006	0,104342
Resíduo	18	0,020009	0,001112		
Total		0,023261			

### - ESTRATOS SUPERIOR

VARIÁVEL DEPENDENTE: DIVERSIDADE (DIV)

R MÚLTIPLO: 0,782803051

R<sup>2</sup> MÚLTIPLO: 0,612780617

R<sup>2</sup> AJUSTADO: 0,567225395

Nº DE CASOS: 20

F ( 2, 17) = 13,45138 p < 0,000315

ERRO PADRÃO DA ESTIM.: 0,037136689

N=20	$\beta$	ERRO. PAD. DE $\beta$	t(17)	PROB.
Interc.	1,8683	0,245076	7,62355	0,000001
MED	-25,4649	5,686502	-4,47812	0,000331
SAVI	6,8790	2,184291	3,14930	0,005852

#### ANÁLISE DE VARIÂNCIA

EFEITOS	GL	SQ	SQM	F	PROB.
Regressão	2	0,037103	0,018551	13,45138	0,000315
Resíduo	17	0,023445	0,001379		
Total		0,060548			

### - ESTRATO INTERMEDIÁRIO

VARIÁVEL DEPENDENTE: DIVERSIDADE (DIV)

R MÚLTIPLO: 0,460976139

R<sup>2</sup> MÚLTIPLO: 0,212499001

R<sup>2</sup> AJUSTADO: 0,168748945

Nº DE CASOS: 20

F ( 1, 18) = 4,857114 p < 0,040791

ERRO PADRÃO DA ESTIM.: 0,045096309

N=20	$\beta$	ERRO. PAD. DE $\beta$	t(18)	PROB.
Interc.	-0,036346	0,399974	-0,090871	0,928599
SMA	7,758544	3,520392	2,203886	0,040791

#### ANÁLISE DE VARIÂNCIA

EFEITOS	GL	SQ	SQM	F	PROB.
Regressão	1	0,009878	0,009878	4,857114	0,040791
Resíduo	18	0,036606	0,002034		
Total		0,046484			